S. MELIUJIN

DIALECTICA DEL DESARROLLO EN LA NATURALEZA INORGANICA

Versión española de
LYDIA KUPER DE VELASCO

EDITORIAL GRIJALBO, S. A.
México, D. F., 1963

Título de la obra en ruso:

O DIALEKTIKE RAZVITIIA NEORGANICHESKOI PRIRODY

Esta traducción ha sido hecha directamente de la edición rusa, en virtud de contrato con Mezhdunarodnaia Kniga, plaza Smolenskaya-Sennaya, 32/34, Moscú.

© 1963 por Editorial Grijalbo, S. A.
Avenida Granjas, 82, México, 16, D. F.

PRIMERA EDICION EN ESPAÑOL

IMPRESO EN MEXICO
PRINTED IN MEXICO

INDICE

Prólogo 9

CAPITULO I

Esencia del desarrollo de la materia inorgánica 13
1. Definición general del desarrollo. 13
2. Interrelaciones de las formas de movimiento en el desarrollo de la materia 28
3. Desarrollo de los microobjetos 51
4. El problema de la formación de los elementos químicos 66
5. Desarrollo de los cuerpos macroscópicos 78
6. Desarrollo de los objetos cósmicos 87

CAPITULO II

Interacción de los contrarios en el desarrollo 101
1. Unidad de contrarios en los fenómenos de la naturaleza 101
2. Los contrarios en las formas de movimiento de los cuerpos inorgánicos 113
3. La interacción de los contrarios como fuente de desarrollo .. 125

CAPITULO III

Tránsito recíproco de los cambios cuantitativos a cualitativos en el desarrollo 141
1. Determinación cualitativa y cuantitativa de los objetos 141
2. Tránsito de los cambios cuantitativos a cualitativos 152
3. Influencia de los cambios cualitativos sobre los cuantitativos 162

CAPITULO IV

Relaciones recíprocas entre lo cíclico y lo irreversible en el desarrollo 175
1. El ciclo como elemento interno del desarrollo 175
2. Correlación entre lo progresivo y lo irreversible 186
3. Manifestaciones de la irreversibilidad de los cambios en la acción de las leyes de la naturaleza 193

4. Irreversibilidad de los cambios del tiempo 202
5. Indestructibilidad del desarrollo de la materia en el cosmos 221

CAPITULO V

RELACIÓN CAUSAL ENTRE LOS FENÓMENOS EN EL DESARROLLO 239
1. Formas principales de las relaciones causales 239
2. El problema de la descripción causal del desarrollo 248
3. Correlación entre las leyes dinámicas y estadísticas de la posibilidad y la realidad 263
4. El problema de la probabilidad en el desarrollo 276

S. Meliujin trata en su libro un problema filosófico y científico poco estudiado: el desarrollo en la naturaleza inorgánica. Basándose en las adquisiciones de las ciencias naturales modernas, el autor expone en forma accesible la dialéctica del desarrollo de la materia inorgánica, analiza la esencia de las diversas formas de la materia en la naturaleza inorgánica y la acción de las leyes dialécticas fundamentales en el universo. El autor pone de manifiesto el carácter específico de las interacciones de los contrarios en la naturaleza inorgánica, el tránsito recíproco de los cambios cuantitativos y cualitativos. Dedica un capítulo especial al estudio de las interrelaciones entre los ciclos, la irreversibilidad y el movimiento ascensional, demostrando la indestructibilidad del desarrollo de la materia en el cosmos. Explica con todo detalle la acción del principio de la causalidad, las relaciones recíprocas entre las leyes dinámicas y estadísticas, la posibilidad y la realidad. El libro está destinado a un amplio círculo de lectores: conferenciantes, profesores, estudiantes, así como a todos aquellos que se interesan por los problemas filosóficos de las ciencias naturales modernas.

PROLOGO

El mundo que nos rodea es un mundo en constante cambio. Todo fenómeno lleva implícita la posibilidad de su propia negación y el embrión de las futuras formas que adoptará inevitablemente con el tiempo. Esos cambios se producen sin interrupción, del mismo modo que no se interrumpe la propia existencia del mundo. El resultado natural de los mismos es el autodesarrollo, sujeto a leyes, de la materia desde lo simple a lo complejo, desde lo inferior a lo superior.

Cuando analizamos la realidad circundante advertimos sin lugar a dudas la existencia de una línea ascendente en el desarrollo de la *sociedad*. Cada año aumentan más y más los conocimientos humanos sobre el mundo, se desarrollan las fuerzas productivas y crece el poder del hombre sobre las fuerzas espontáneas de la naturaleza. La tendencia progresiva general en el desarrollo de la *naturaleza orgánica* es del todo evidente. Toda la historia de la vida constituye un proceso ininterrumpido de complicación de formas orgánicas, comenzando por las más simples y acabando por el hombre. Pero mucho más difícil resulta ver la línea ascendente en el desarrollo de la *naturaleza inorgánica*.

En el estado de los cuerpos cósmicos —nebulosas, estrellas y planetas— los cambios esenciales se producen, por regla general, con suma lentitud, a lo largo de miles y millones de años. Por ello, la observación directa no muestra una tendencia general de desarrollo ascendente, sino tan sólo estados momentáneos de los objetos. Formarse una idea de su desarrollo general es tan difícil como determinar el contenido de una película por algunos cinegramas extraídos al azar. Y, a su vez, los cambios que se producen en

breves intervalos de tiempo no suelen mostrar ninguna tendencia manifiesta. Debido a ello, en la ciencia y en la filosofía han surgido, en reiteradas ocasiones, diversas teorías que negaban el desarrollo en la naturaleza inorgánica. Sus partidarios afirmaban que en el mundo se producen ciclos constantes con el retorno al punto de partida, y que el mundo, pese a los posibles cambios en algunas regiones del universo, es invariable en su conjunto.

Los autores de esas concepciones esperaban, al parecer, hallar en la naturaleza inorgánica las mismas formas de desarrollo que en la naturaleza orgánica y en la sociedad. Pero semejantes esperanzas carecen de base. Aunque entre la naturaleza orgánica y la inorgánica no existen barreras, sus leyes se distinguen cualitativamente entre sí y, por tanto, sus formas de desarrollo son diferentes. Así, pues, no se trata de negar el desarrollo en el mundo inorgánico, sino de comprender sus peculiaridades específicas y sus leyes internas.

En la naturaleza existen, efectivamente, los ciclos. Sin embargo, ningún ciclo es completo; cualquiera de ellos comprende elementos de cambios irreversibles, que hacen posible el desarrollo de la materia con arreglo a leyes. Por esta razón los cambios en las diversas esferas del mundo material no pueden juzgarse a base de los procesos cíclicos únicamente. "La naturaleza —escribía Engels— es la piedra de toque de la dialéctica, y debemos señalar que las modernas ciencias naturales nos brindan, como prueba de esto, un acervo de datos extraordinariamente copioso y enriquecido cada día que pasa, demostrando con ello que en la naturaleza, en última instancia, todo sucede de modo dialéctico y no metafísicamente (que no se mueve en la eterna monotonía de un ciclo constantemente repetido, sino que recorre una verdadera historia...)"[1]

Hoy día, gracias a los éxitos de la física, la astronomía

[1] F. Engels, *Anti-Dühring*, trad. esp., págs. 32-33, Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo, 1960.

y la geología, la idea del desarrollo en la naturaleza inorgánica ha pasado a *ser objeto de investigación científica*. En un pasado reciente, la idea del desarrollo era el objeto fundamental de estudio de las ciencias sociales y la biología, pero ahora ya penetra profundamente en la ciencia que estudia la naturaleza inorgánica. Cabe decir que de la elaboración completa de esa idea depende, en gran medida, el futuro de dichas ciencias.

Este hecho determina, en grado considerable, su mérito en la creación de un cuadro científico único del mundo.

En el presente trabajo el autor se propone poner de manifiesto la importancia que tienen para la filosofía los descubrimientos alcanzados en las ciencias naturales en las últimas décadas. El autor trata de analizar cómo se manifiestan en la naturaleza inorgánica las leyes dialécticas generales del desarrollo, cuáles son las relaciones recíprocas entre lo irreversible y lo cíclico y qué formas adopta la relación causal de los fenómenos.

Como el problema examinado en el libro se ha tratado muy débilmente en la literatura filosófica, se comprende, naturalmente, que muchos de sus aspectos no hayan podido ser abordados con la suficiente profundidad y plenitud en el marco del presente trabajo.

Algunas de las cuestiones se examinan a título de discusión. Por ello todas las observaciones críticas argumentadas, encaminadas a buscar una solución positiva de los problemas, serán acogidas con gratitud por el autor.

S. Meliujin

CAPITULO I

ESENCIA DEL DESARROLLO DE LA MATERIA INORGANICA

1. Definición general del desarrollo.

En el mundo material existen tres grandes grupos de fenómenos cualitativamente distintos entre sí por sus propiedades y las leyes de su desarrollo: 1) fenómenos de la naturaleza inorgánica; 2) de la naturaleza orgánica, y 3) fenómenos sociales. En el desarrollo histórico de la materia, los fenómenos biológicos surgen sobre la base de los procesos de la naturaleza inorgánica, en tanto que los sociales aparecen sobre la base de los biológicos. Esto condiciona su vínculo indisoluble y su interdependencia recíproca. Pero la aparición de fenómenos pertenecientes a esos dos últimos grupos va acompañada de leyes y formas de desarrollo completamente nuevas, que se diferencian cualitativamente de las leyes y las formas de desarrollo de la naturaleza inorgánica.

En la sociedad, el desarrollo va ligado al paso de una formación económica a otra superior, al progreso de las fuerzas productivas y de las relaciones de producción, a la acumulación de nuevos conocimientos científicos que aumentan el poder del hombre sobre la naturaleza y, por fin, al perfeccionamiento de los medios de reflejo de la realidad. Como la vida social es extraordinariamente multifacética, el criterio de su desarrollo también es de suma complejidad y variación.

El desarrollo en la naturaleza viva se caracteriza por rasgos completamente distintos. Se manifiesta como un pro-

ceso de complicación, sujeto a leyes, de la organización interna y de las funciones de las plantas y los animales, orientada a su mejor adaptación a las condiciones de la existencia, así como a un reflejo más completo y diferenciado de esas condiciones. En el mundo animal, en una etapa más elevada de desarrollo, encontramos especies que poseen un sistema nervioso más perfecto, que se han adaptado mejor a las condiciones de su existencia y que son capaces de reflejar de manera completa y diferenciada los diversos estímulos exteriores. El desarrollo en el mundo animal está ligado al perfeccionamiento de la capacidad de reflejar. Sobre la base de esa capacidad, inherente a toda la materia, aparece —al surgir la vida— la capacidad de excitación y, seguidamente, la de sensación. El producto superior del desarrollo de la materia, en la esfera del mundo que conocemos, es el hombre, capaz de reflejar en todos sus aspectos la realidad, tanto en representaciones sensibles como en conceptos abstractos.

Pero los rasgos específicos y las leyes de desarrollo de la sociedad y del mundo orgánico resultan inaplicables, en su mayor parte, a la naturaleza inorgánica, donde las leyes dialécticas generales se manifiestan en otras formas concretas. En la sociedad y en la naturaleza orgánica el desarrollo está ligado al concepto de progreso, que tiene un contenido distinto en cada una de esas esferas. Este concepto resulta, las más de las veces, inadecuado para la naturaleza inorgánica.

Cuando observamos los cambios en el relieve de la corteza terrestre y de las regiones internas de la tierra, los diversos procesos cósmicos como, por ejemplo, la expulsión de una materia difusa por las estrellas y su concentración inversa en la nebulosa, resulta imposible determinar cuál de esas formas surgidas es más progresiva. El concepto de progreso no caracteriza, ni mucho menos, todas las transformaciones de la materia en el cosmos durante su proceso de desarrollo. Puede aplicarse, al parecer, tan sólo a las for-

mas del mundo inorgánico que están relacionadas con el paso de la materia inerte a la viva, es decir, a la aparición de la vida. Diríase que en este caso expresa la relación entre el desarrollo de la materia inorgánica y el progreso en la evolución de la naturaleza orgánica. En todos los demás casos de desarrollo de la materia inorgánica resulta inaplicable el concepto de progreso.

Las diferencias se manifiestan también en lo siguiente: El proceso de existencia de la sociedad y de la naturaleza orgánica está relacionado con el movimiento de lo inferior a lo superior; queremos subrayar, al mismo tiempo, que el desarrollo, en su conjunto, pese a los retrocesos y zigzags temporales, tiene un carácter ascensional y tiende constantemente a formas más elevadas. En la naturaleza inorgánica también existe el movimiento de lo inferior a lo superior; reviste la forma de una mayor complejidad de los vínculos, de las formas de movimiento y de la estructura de los objetos materiales. Pero no abarca todo el proceso de la existencia, sino que es sólo una parte suya. Los procesos de complicación e integración de los sistemas materiales son forzosamente sustituidos por otros de desintegración y descomposición. Por ello no puede hablarse en este caso de que el movimiento se opera siempre de lo inferior a lo superior; por otra parte, esos conceptos no siempre reflejan de manera adecuada los procesos reales de cambio en planetas, estrellas, nebulosas y sistemas galácticos.

Al analizar las formas de desarrollo del mundo inorgánico importa tener en cuenta que las propiedades y leyes de movimiento de la materia inorgánica se diferencian cualitativamente de las propiedades y leyes de desarrollo de los fenómenos biológicos y sociales; por ello nuestras ideas habituales sobre el desarrollo no pueden aplicarse a toda la naturaleza. Para explicar con mayor precisión la esencia del desarrollo de la materia inorgánica hemos de examinar, primeramente, cuáles son las relaciones mutuas entre los conceptos de desarrollo y de movimiento.

F. Engels escribía que "el movimiento aplicado a la materia es *cambio en general*".[1] El movimiento abarca toda clase de procesos, comenzando por el simple desplazamiento y acabando por el pensar.

El concepto de desarrollo es menos general; caracteriza únicamente el cambio sujeto a leyes, espontáneo y total en el estado de los sistemas. Pero todo sistema puede experimentar el efecto de una acción exterior inesperada por la fuerza que no emana en modo alguno de las leyes internas de su desarrollo. Esta acción puede provocar un cambio radical en el estado del sistema o, incluso, destruirlo por completo. Sin embargo, ese cambio nada tendrá que ver con el desarrollo interno del sistema, sino que será completamente ajeno a él.

La diferencia entre movimiento y desarrollo se manifiesta también en que el movimiento, como modo de existencia de la materia, es *absoluto* y abarca todos los cambios en todos los sistemas, mientras que el desarrollo es *relativo* y depende del carácter del sistema. El proceso que aparece como desarrollo en los límites de un sistema puede ser un simple cambio en el marco de otros sistemas, más o menos generales. A fin de explicar lo dicho, vamos a definir el sentido que tiene el concepto de sistema.

Llamamos *sistema* a un conjunto íntegro de elementos en el cual todos éstos se encuentran tan estrechamente vinculados entre sí, que el sistema dado, con relación a las condiciones circundantes y a otros sistemas, se presenta como algo único. En todo sistema la conexión entre sus elementos componentes ha de ser mucho más sólida y estable que el vínculo de cada uno de esos elementos con las partes de otros sistemas. La observancia de esa condición distingue todo sistema efectivamente íntegro de un simple conglomerado de cualquier clase de elementos.

Ahora bien, todo sistema en cuanto determinación cua-

[1] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, trad. de W. Roces, Editorial Grijalbo, México, 1961, pág. 21.

litativa dada es relativo. Puede contener sistemas de orden menor y formar parte, a su vez, como elemento componente de sistemas de orden mayor. Por ello el conjunto de procesos que representa el desarrollo para un sistema dado puede no ser más que un pequeño cambio en el marco de un sistema más general. Por ejemplo, la multitud de procesos que caracterizan el desarrollo individual del hombre no serán más que un fragmento insignificante en el cambio de la sociedad tomada en su conjunto.

Por otra parte, el proceso de desarrollo para un sistema dado puede no ser distinto para sistemas de orden menor que integran el sistema como elementos suyos. Por ejemplo, el organismo en su conjunto puede desarrollarse sin que las moléculas, los átomos y las partículas elementales que lo constituyen experimenten ningún desarrollo. Estos microobjetos pueden experimentar simples *cambios*, de un orden, incluso, totalmente distinto que el organismo. Vemos, pues, que multitud de procesos que constituyen los cambios resultan mucho más amplios que los procesos que constituyen el desarrollo. El concepto de desarrollo no caracteriza más que el cambio íntegro, legítimo y autoespontáneo del estado cualitativo de cada sistema dado como un todo único.

El ciclo general de existencia de todo sistema comprende cuatro etapas: 1) aparición del sistema; 2) línea ascendente de su desarrollo; 3) línea descendente de su desarrollo, y 4) desintegración del sistema en elementos componentes o su transformación en formas materiales cualitativamente distintas.

La aparición, y todo el desarrollo del sistema, está determinado por el principio de la causalidad y las leyes de conservación de la materia y de sus propiedades más importantes. Se produce siempre en el transcurso de un determinado período de tiempo, tanto mayor cuanto mayores sean las proporciones del sistema. El desarrollo ascendente constituye la fase básica de existencia del sistema y expresa del modo más completo su determinación cualitativa. Como regla, esa

fase es la más duradera. La línea descendente caracteriza la extinción del sistema, la pérdida de su determinación cualitativa fundamental. La desintegración del sistema significa el fin de su existencia, aunque los objetos materiales, surgidos después de ello, pasen a formar parte de un nuevo ciclo de desarrollo en el marco de un sistema totalmente diferente. La existencia de esa posibilidad tiene gran significación de principio, pues demuestra que el desarrollo de la materia como sustancia es ininterrumpido e infinito en el espacio y el tiempo, aunque el desarrollo de cada sistema concreto tiene principio y fin.

De esas cuatro etapas de existencia de un sistema, la que ofrece el mayor interés es la segunda, que representa la línea ascendente del desarrollo. El propio concepto de desarrollo suele identificarse con esa etapa precisamente, y siempre hay para ello determinadas razones, pues en esa etapa es donde se manifiestan con la máxima plenitud las peculiaridades fundamentales del desarrollo. Examinemos los rasgos más esenciales del desarrollo ascendente en el marco de la naturaleza inorgánica.

En todos los sistemas materiales el desarrollo ascendente está relacionado con el paso de lo simple a lo complejo, que coincide, en muchos casos, con el paso de lo inferior a lo superior. Es bastante difícil definir con exactitud los conceptos de simple y complejo, pese a su aparente claridad, ya que su significación es relativa y no absoluta. Lo simple no es simple por sí mismo, sino con relación a algo más complejo. En la naturaleza no existen cuerpos en absoluto simples, de la misma manera que no los hay absolutamente complejos. Como la naturaleza es eterna en el tiempo, cada objeto material viene a ser el resultado de infinitos cambios anteriores de la materia y, al mismo tiempo, el punto de partida para el siguiente cambio infinito. Para determinar una complejidad relativa hemos de separar de una serie infinita de cambios un cierto intervalo limitado de tiempo y observar el desarrollo de la materia en los límites de ese in-

tervalo. Serán más complejos los objetos materiales que se originan debido al autodesarrollo espontáneo y sujeto a leyes de la materia y que poseen conexiones y formas de movimiento más variadas que las de los cuerpos anteriores. Estos últimos, por consiguiente, serán más sencillos.

El grado de complejidad se determina, tan sólo, mediante la comparación de las propiedades homogéneas de los cuerpos. Si los cuerpos se diferenciaran radicalmente, sería muy difícil hacer esa comparación. Sin embargo, pese a todas las diferencias, siempre resulta posible encontrar en los objetos algunos rasgos generales que serán los puntos de arranque para la comparación. Por ejemplo, si comparamos el cristal con algún organismo vivo, la determinación del grado de complejidad podrá establecerse de acuerdo con la estructura físico-química de la sustancia integrante. En el cristal, los vínculos atómicos y moleculares son relativamente simples. Las moléculas de la sustancia orgánica, por el contrario, están constituidas por decenas de miles de átomos, entre los cuales hay conexiones extraordinariamente variadas. Igual de variados son los nexos entre las propias moléculas. Esta comparación evidencia con meridiana claridad que todo organismo es incomparablemente más complejo por su estructura físico-química que el cristal.

En las esferas de la realidad accesibles a los procedimientos actuales de medición, las formas materiales más simples son las partículas elementales y los campos, siendo el hombre, dotado de conciencia, el objeto más complejo. Si suponemos que la materia de nuestro planeta procede, en fin de cuentas, de una nube de materia difusa engendrada en otros tiempos por el sol y algunas otras estrellas, veremos que el desarrollo de la materia en el sector del universo que nos rodea se caracteriza por un proceso de complejidad, desde átomos simplísimos y partículas elementales hasta los múltiples y variados seres vivos y el hombre. Si consideramos las partículas elementales como el "punto-cero" de partida de una imaginaria escala de desarrollo y el cerebro humano como

el resultado de ese desarrollo, podremos situar las diversas combinaciones de la materia en forma de una larga escalera genética.

Ocuparán los peldaños superiores los objetos materiales que posean gran variedad de conexiones e interacciones y, por consiguiente, de formas de movimiento más complejas. El desarrollo se efectuará en forma de paso de partículas elementales a átomos, luego a moléculas de diversa complejidad, cuerpos macroscópicos y a la sustancia orgánica.

En ese proceso, los cambios cuantitativos y cualitativos constituyen una unidad orgánica. El aumento cuantitativo de las micropartículas en la composición de las moléculas y la aparición entre ellas de nuevos vínculos conduce a radicales transformaciones cualitativas en la estructura de las moléculas y a la aparición de nuevas combinaciones químicas.

Por ello el grado de complejidad de los objetos materiales no sólo se determina por sus rasgos cuantitativos, sino, ante todo, por el aspecto cualitativo, por el carácter de las correspondientes formas de movimiento. La unión de micropartículas puede llevar a la formación de un cuerpo con una masa superior en un millón de veces a la masa del cerebro humano; mas eso no significa que será más compleja que el cerebro. Por lo que se refiere a su estructura físico-química, será incomparablemente más sencillo que él. De este modo el criterio de complejidad no radica en una sola cualidad, en la masa, pongamos por caso, sino en la suma de todas las propiedades y formas de interrelaciones fundamentales, en el carácter específico de las correspondientes clases de movimiento. Un cuerpo más complejo abarca los vínculos y las formas de movimiento fundamentales propias de cuerpos menos complejos, pero, además, posee formas de movimiento que no corresponden a los cuerpos dados. Por esta razón, la ley del desarrollo de un cuerpo complejo es más complicada; su caso particular puede ser la ley del desarrollo de cuerpos menos complicados.

Debido a que en el desarrollo no sólo se produce siem-

pre la complejidad cuantitativa, sino también la cualitativa de los sistemas, el proceso del desarrollo se diferencia sustancialmente del simple crecimiento. Durante el crecimiento, en lo fundamental, aumentan cuantitativamente las propiedades y el grado de complejidad del sistema, pero se conservan, en sus rasgos generales, las formas de movimiento antes existentes. Por ejemplo, los vínculos y las formas de movimiento fundamentales inherentes a dos ladrillos son casi iguales a los vínculos y formas de movimiento propias de un gran montón de ladrillos, formado más tarde. Pero en el desarrollo, por el contrario, se produce la transformación cualitativa de los vínculos y las formas de movimiento. El crecimiento es la premisa indispensable de todo desarrollo, pero jamás agota la esencia del mismo. El desarrollo comprende transformaciones cualitativas que no pueden reducirse a un simple crecimiento.

Así, pues, el desarrollo ascendente en el marco de la naturaleza inorgánica viene a ser un proceso de complicación de los vínculos, de las formas de movimiento y la estructura de los correspondientes objetos materiales.

Debemos subrayar que nuestras representaciones subjetivas sobre el grado de complejidad de los cuerpos no coinciden siempre, ni mucho menos, con la complejidad objetiva real de los cuerpos en sus relaciones recíprocas. Así, en el pensamiento corriente los átomos y las partículas elementales nos parecen mucho más difíciles de comprender que los cuerpos macroscópicos, a pesar de que estos últimos, objetivamente, son mucho más complejos que los primeros, ya que poseen todas las formas de movimiento propias de las microparticulas y, además, otras que no les son propias.

Semejante diferencia entre el grado de complejidad subjetivamente percibido y el objetivamente real se explica, en el caso dado, por el hecho de que el hombre, por sí mismo, es un ser macroscópico y su conciencia trata, ante todo, con objetos del macrocosmos. Debido a su constante relación con esos objetos, el hombre se acostumbra a ellos,

y ese hábito crea, con frecuencia, la ilusión de que comprende profundamente su esencia interna. Además, en la mayoría de los casos no todas las propiedades de los cuerpos resultan prácticamente importantes, sino tan sólo algunas, y ésas son las que se estudian en primer lugar.

Sin embargo, si pasamos de los aspectos exteriores de los objetos al estudio de las leyes internas que determinan su estructura y al examen de la naturaleza físico-química de sus propiedades, veremos que todos los cuerpos macroscópicos distan mucho de ser tan sencillos como parecen. Para poderlos explicar de un modo completo tendremos que recurrir a muchos sectores del conocimiento, incluida la teoría atómica, y tomar en cuenta las peculiaridades que presiden las relaciones de las microparticulas en un cuerpo concreto. Si conseguimos resolver ese problema, aunque sólo sea en parte, sus propiedades nos parecerán no menos complejas que las propiedades de los microobjetos.

En relación con lo dicho, debemos señalar que en la teoría no siempre coincide la continuidad del conocimiento lógico de los fenómenos con el curso objetivo de su desarrollo histórico. La materia, en el sector del universo que nos circunda, fue haciéndose más compleja al pasar de las partículas elementales a los átomos, moléculas y cuerpos macroscópicos. Mientras que el desarrollo del conocimiento ha seguido una dirección inversa: al principio se explicaron en sus rasgos generales las propiedades de los cuerpos macroscópicos; más tarde la ciencia pasó a investigar las moléculas y los átomos, y hace muy poco tan sólo al estudio de las partículas elementales. La unidad de lo lógico y lo histórico se produce en muchos casos, pero no constituye, sin embargo, una ley dialéctica universal e inquebrantable. Esto se explica, en primer lugar, por el hecho de que las leyes internas del desarrollo de la ciencia no son iguales a las leyes objetivas del desarrollo de la propia materia, aunque existen entre ellas numerosos rasgos comunes. La ciencia no suele investigar, ante todo, lo primario en el desarrollo histórico

de los fenómenos, sino lo más importante en el aspecto teórico y práctico en el momento dado, aquello que contribuye a solucionar los problemas candentes de la producción.

Sin embargo, el desarrollo de las ciencias permite aproximar cada vez más el conocimiento lógico de los fenómenos al carácter de su desarrollo histórico; con el tiempo irá desapareciendo poco a poco su falta de coincidencia. Hoy día, gracias al conocimiento de las propiedades y las leyes de movimiento de las micropartículas, se ha conseguido explicar algunas peculiaridades en la estructura de combinaciones químicas complejas, hacer la síntesis de muchas sustancias y descubrir, incluso, la naturaleza físico-química de muchos fenómenos biológicos. Es indudable que en un futuro relativamente cercano el empleo de los novísimos logros de la física, la química y la cibernética nos permitirá abordar la explicación de los procesos más complejos de los organismos vivos y actuar prácticamente sobre ellos en beneficio del hombre.

Más arriba hemos dicho que la rama ascendente del desarrollo no agota todo el ciclo de existencia de los sistemas materiales. En cada sistema existe, además, la rama descendente del desarrollo. Todos los organismos vivos, al llegar a una edad determinada, envejecen y mueren; las estrellas y las galaxias, en el curso de su evolución, emiten continuamente al espacio materia y energía y acaban por extinguirse. En una palabra, todo aquello que tiene principio ha de tener forzosamente fin. Las formas altamente organizadas de la materia, originadas en el curso del desarrollo, acaban por desintegrarse en sus elementos componentes, que más tarde, en otro lugar y en otro tiempo, vuelven a integrarse en nuevos ciclos de desarrollo.

¿Es válida esta regla para un sistema material como la sociedad humana? Esta pregunta encierra una extraordinaria complejidad, y hoy día es imposible responder a ella con toda certeza. Desde hace muchos años se han difundido en la literatura diversas concepciones pesimistas referentes a las

perspectivas del desarrollo de la Humanidad. Se ha dicho, por ejemplo, que cuando el Sol —con el paso del tiempo— se enfríe, la vida cesará forzosamente en la Tierra. Sin embargo, últimamente se considera que la vida en la Tierra no se extinguirá debido al enfriamiento, sino al calentamiento del Sol, producido por los cambios en el carácter de las reacciones nucleares. Finalmente, en algunos trabajos se ha señalado un peligro de otro género, debido a las investigaciones en la esfera de las reacciones nucleares. Se exponía la conjetura de que gracias a esas investigaciones podían crearse de improviso condiciones físicas especiales que sentarían el comienzo de una poderosa reacción termonuclear de síntesis de hidrógeno, litio, ázoe, oxígeno y otros elementos. El resultado de esa síntesis sería una explosión colosal en la escala de todo el planeta, y el éxito de este último experimento humano culminaría con la aparición de una nueva estrella en el cosmos.

Sin embargo, no todas esas predicciones, ni mucho menos, responden a la realidad. La explosión repentina de la atmósfera y del agua debido a la síntesis termonuclear de elementos ligeros es irrealizable en condiciones terrestres. Para la combinación de los núcleos del ázoe y el oxígeno en núcleos de silicio, fósforo y azufre se precisa una temperatura de miles de millones de grados y una presión igual de inmensa. Además, para que la explosión de la atmósfera se produzca, esa presión y esa temperatura habrían de extenderse a todo el ámbito del planeta. Esto, sin embargo, es totalmente imposible, y por ello toda explosión tendrá un carácter puramente local, sin provocar cambios esenciales en el estado de la Tierra como planeta.

Por lo que se refiere al peligro relacionado con el cambio del estado físico del Sol, tampoco éste es tan importante como puede parecer a primera vista. De acuerdo con los datos teóricos modernos, el Sol existirá en un estado relativamente estable varios miles de millones de años más, después de lo cual empezará a calentarse poco a poco, debido

al cambio en el carácter de las reacciones termonucleares. Por consiguiente, durante todo ese tiempo puede desarrollarse la vida en la Tierra sin ningún impedimento. Varios miles de millones de años constituyen un período de tiempo tan considerable en la existencia humana que supera a toda imaginación. La historia entera de la civilización no cuenta más que con cuatro o cinco mil años, y durante todo ese período se han alcanzado ya sorprendentes éxitos en la ciencia y en la técnica.

¿Qué éxitos no podrán ser alcanzados en los milenios venideros, para no hablar ya de millones y miles de millones de años? Para tener una idea, aunque débil, de las ilimitadas posibilidades del futuro desarrollo de la Humanidad, supongamos que toda la historia de su existencia y todos los éxitos alcanzados en el conocimiento y la sumisión de la naturaleza están representados en forma de un libro con un volumen de un millón de páginas. Supongamos que cada página abarca un período de cuatro o cinco mil años. La altura de ese libro será, más o menos, de cien metros. En este caso la Humanidad, en la etapa contemporánea de su desarrollo, ha tenido tiempo de leer únicamente la primera página de ese libro, teniendo todavía por delante la lectura de las restantes. Es imposible decir lo que está escrito en ellas, pero es indudable que contienen la solución de todos los problemas relacionados con la necesidad de una existencia ilimitada de la Humanidad, si no en la Tierra, por lo menos en otros mundos.

Más arriba hemos dicho que cada sistema material concreto tiene principio y fin. Pero en la sociedad el desarrollo ilimitado resulta posible para fenómenos de un orden completamente distinto.

En efecto, los objetos materiales físicos de cada sociedad son los propios hombres, los edificios en que viven, así como las herramientas y los medios de producción de que se valen para producir los bienes materiales. Todos esos elementos materiales de la sociedad poseen una existencia limi-

tada. Una generación de hombres se extingue casi por completo al cabo de ochenta o noventa años, más o menos, siendo sustituida por otra generación nueva. Los medios de producción son sustituidos en lapsos de tiempo todavía menores. Más duradera es la existencia de los edificios, pero también ellos, al fin y al cabo, se renuevan totalmente.

Así, pues, ¿qué es lo que experimenta un desarrollo ininterrumpido y progresivo? En primer lugar, el sistema de los conocimientos humanos, su experiencia técnica y productiva y, en segundo, su organización biológica (lo mismo que la de otros seres vivos). En los hombres el perfeccionamiento de la organización biológica se manifiesta, ante todo, en su capacidad de reflejar el mundo exterior. Se expresa en el desarrollo gradual del sistema nervioso y, sobre todo, del cerebro, en un aumento de su capacidad de reflejar desde todos los puntos de vista la realidad en representaciones sensibles y conceptos abstractos. Sin embargo, el conjunto de los conocimientos científicos y técnicos, así como la organización biológica, no conciernen a sistemas físicos materiales, sino que constituyen fenómenos de un orden especial, que caracterizan las *propiedades* y las *funciones* de la materia altamente organizada. Por consiguiente, el ininterrumpido desarrollo progresivo resulta posible con relación únicamente a ciertas propiedades y funciones de la sociedad (tan sólo en el caso de que existan vínculos de continuidad entre el estado anterior y el posterior), mientras que su contenido material se renueva constantemente.

Vemos, pues, que existe una diferencia de principio entre los sistemas físicos de la naturaleza y un sistema tal como la sociedad. Todos los elementos fundamentales de los sistemas de la naturaleza existen en tanto en cuanto existe el propio sistema en su conjunto. En la sociedad, por el contrario, todos los elementos componentes cambian sin cesar pasados ciertos intervalos de tiempo, y el período de existencia de la sociedad, en su conjunto, resulta mucho más prolongado que el período de existencia de cada uno de sus

elementos. En la sociedad, gracias a esa diferencia, se hace posible, de principio, el desarrollo ilimitado de algunas de sus propiedades y funciones, que no existen en la naturaleza. Pero ese desarrollo ilimitado no se refiere a sistemas físicos, sino a fenómenos de un género totalmente distinto.

La diferencia entre los sistemas físicos y la sociedad, que acabamos de analizar, demuestra de modo convincente que a la naturaleza viva no se le pueden aplicar automáticamente todas las reglas y leyes que caracterizan el desarrollo en la naturaleza inorgánica, y aún menos a los fenómenos sociales. *La esencia y las leyes del desarrollo se complican a la par que el propio desarrollo.* Radica en ello una de las leyes más importantes del mundo material, que siempre se ha de tener en cuenta. Al hablar de las peculiaridades más importantes del proceso de desarrollo hemos de subrayar forzosamente el hecho —importante por principio— de que el desarrollo jamás se manifiesta en forma de un ascenso continuo de lo inferior a lo superior, sino que representa un movimiento sumamente complejo que comprende numerosos retrocesos hacia los puntos de partida. En ese proceso no existe el paso ininterrumpido de lo simple a lo complejo, ya que si existiese habrían desaparecido todas las formas sencillas, quedando tan sólo las complejas. Al tiempo que surgen formas altamente organizadas, las simples continúan existiendo y desarrollándose de modo autónomo. Por ejemplo, juntamente con los mamíferos superiores existen y se desarrollan organismos simplicísimos, plantas, anfibios, reptiles, peces, etc. El desarrollo de la materia constituye un proceso que se efectúa en múltiples planos y en diversos niveles de complejidad organizativa. En cada uno de ellos hay sus leyes específicas de desarrollo, distintas a las leyes de otros fenómenos. Las formas inferiores, en el curso de su desarrollo, interactúan constantemente con las superiores. Gracias a esa interacción se perfeccionan constantemente, tanto las unas como las otras, pero en distintas direcciones. Estudiaremos las manifestaciones concretas de ese desarro-

llo en el ejemplo de las relaciones entre formas de movimiento de diversos sistemas materiales.

2. Interrelaciones de las formas de movimiento en el desarrollo de la materia.

El proceso de complicación de los nexos y la estructura de los objetos materiales coincide con la complicación de sus formas de movimiento, ya que todo movimiento se manifiesta en forma de interacciones de los diversos sistemas. Debido a la multiformidad de los nexos y las interacciones de los cuerpos, existen en la naturaleza numerosas y diversas formas de movimiento. Todas ellas pueden subdividirse en tres grandes grupos: 1) formas de movimiento en la naturaleza inorgánica; 2) formas de movimiento en la naturaleza viva, y 3) formas de movimiento en la sociedad. Históricamente, estos grupos están ligados unos a otros y cada uno de ellos comprende una serie de formas *fundamentales* de movimiento, cuyo número aumenta constantemente a medida que la ciencia se desarrolla.

¿A qué criterio debemos atenernos para clasificar de fundamentales las diversas formas de movimiento? Se trata de un problema todavía no resuelto y, por tanto, discutible. En algunos trabajos filosóficos, todas las formas de movimiento se clasifican según la denominación de las ciencias que las estudian, con la particularidad de que se destacan cinco formas fundamentales de movimiento: mecánico, físico, químico, biológico y social. Semejante clasificación refleja algunos aspectos objetivos en las interrelaciones de las formas de movimiento; mas, a pesar de ello, no es bastante exacta. No resulta claro, ante todo, por qué no se incluye la forma mecánica del movimiento entre las formas físicas. La mecánica siempre ha sido, y sigue siendo, una parte de la física, y si procesos tan heterogéneos como la gravitación, la luz, las reacciones nucleares, el calor, etc., se agru-

pan en una sola forma física de movimiento, no hay ninguna razón para excluir de los procesos físicos el desplazamiento mecánico.

Sin embargo, no se trata solamente de eso. En la clasificación citada se subraya la existencia de *una sola* forma física de movimiento. No obstante, en la naturaleza no existe una sola forma única. Los procesos que estudia la física —desplazamiento en el espacio, fenómenos electromagnéticos, gravitación, reacciones nucleares, interacción de las partículas elementales, calor, procesos de cristalización, cambios en los estados agregados, etc.— constituyen fenómenos totalmente heterogéneos, supeditados a leyes cualitativamente distintas. Por ello no hay ningún motivo para considerarlos como una forma de movimiento único. Importa señalar con relación a lo dicho que Engels hablaba de *muchas* formas físicas de movimiento,[2] entre las cuales mencionaba la luz, el calor, la electricidad, el sonido, la unión y desintegración de los átomos, etc. De este modo cabe decir con firmeza que en la naturaleza no existen cinco formas fundamentales de movimiento, sino muchas más, en concordancia con el carácter inagotable del mundo.

Todas esas formas de movimiento no pueden clasificarse siempre, ni mucho menos, según la denominación de las ciencias que las estudian, pues una y la misma forma de movimiento puede ser objeto de estudio de varias ciencias afines, al igual que una sola ciencia puede estudiar varias formas cualitativamente distintas de movimiento. Por ejemplo, las reacciones nucleares que llevan a la transformación de los elementos químicos se estudian simultáneamente por la física y la radioquímica. Los procesos internucleares se investigan tanto por los métodos de la física como por los de la química. La clasificación de esas formas de movimiento según la denominación de las ciencias que las estudian no determina su carácter específico y puede crear confusiones, cosa que ya ha ocurrido cuando algunos químicos calificaron

[2] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, ed. cit., págs. 19, 210 y 211.

dichos procesos de químicos e irreductibles, por principio, a físicos, mientras que los físicos los consideraban como objeto de estudio de su propia ciencia.

Para resolver semejantes discusiones sería más correcto no clasificar las formas de movimiento por sus rasgos formales, sino por su esencia, por su peculiaridad cualitativa objetiva. Para ello conviene tener en cuenta: 1) el principio del desarrollo histórico de la materia, que presupone la aparición de formas de movimiento más complejas originadas por otras más sencillas; 2) las peculiaridades específicas de los objetos a los que son inherentes las formas de movimiento dadas, y 3) la ley general a que están supeditados todos los procesos que participan de la forma del movimiento dado.

El principio del desarrollo nos permite destacar un criterio objetivo para la clasificación de las formas de movimiento, en concordancia con su origen histórico. Las peculiaridades específicas de los objetos tienen importancia porque las propiedades del movimiento, como medio de existencia de la materia, están siempre determinadas por las peculiaridades de los objetos materiales que son los portadores del movimiento dado. Y, por fin, las leyes generales deben tenerse en cuenta porque un mismo objeto puede tener las más diversas formas de movimiento, y en ese caso su clasificación sería imposible de no conocer la ley a que está supeditada cada una de las formas del movimiento dado. Generalizando lo dicho, podemos llegar a la conclusión de que cada forma fundamental de movimiento engloba procesos que caracterizan la existencia de grandes conjuntos de objetos materiales, supeditados a las mismas leyes y que poseen rasgos comunes en sus manifestaciones.

Partiendo de esos rasgos, examinaremos las peculiaridades más importantes de las formas fundamentales de movimiento existentes en la naturaleza.

Los objetos más simples que se conocen actualmente son las partículas elementales y los campos. Por consiguiente,

lo natural es que iniciemos el análisis de las formas de movimiento con el estudio de los procesos inherentes a dichos microobjetos. Entre las formas de movimiento de las partículas elementales y campos hemos de señalar, ante todo, las siguientes: desplazamiento espacial, cambios electromagnéticos, interacciones gravitacionales, reacciones nucleares y procesos en campos de vacío.

El *desplazamiento espacial* representa una de las formas más generales de movimiento existente en la naturaleza. No sólo es inherente a las micropartículas, sino también a los cuerpos macroscópicos. En esta forma de movimiento varían los nexos espaciales y temporales de los cuerpos. El desplazamiento espacial posee numerosas manifestaciones concretas. Puede ser uniforme, rectilíneo, acelerado, giratorio, oblicuo, etc. Todas esas manifestaciones están descritas por las leyes de la mecánica clásica y cuántica.

En los fenómenos macroscópicos, el desplazamiento espacial se manifiesta como movimiento mecánico. El concepto de movimiento mecánico se identifica muchas veces con el concepto de desplazamiento espacial en su conjunto; pero lo cierto es que semejante identificación no es exacta. El movimiento mecánico viene a ser una forma concreta del desplazamiento espacial, pero no agota todas sus manifestaciones. Así, el movimiento en el espacio de partículas elementales, la expansión de las interacciones en el campo electromagnético, gravitatorio y nuclear equivalen, sin duda, al desplazamiento espacial de cierta materia, y, sin embargo, no se trata de un movimiento mecánico. Este último presupone siempre la existencia en el cuerpo de cierta trayectoria, de un valor simultáneo y exacto de la coordenada y el impulso. Dichos conceptos son inaplicables a los microobjetos. En virtud del principio de indeterminación o incertidumbre, de las propiedades cuánticas de los microobjetos y de su conexión indisoluble con los diversos campos, las micropartículas no poseen simultáneamente valores exactos de coordenada e impulso. Su movimiento no tiene trayectoria, sino

que se supedita a las leyes ondulatorias específicas de la teoría cuántica. Por ello el movimiento dado no puede calificarse de desplazamiento mecánico. Son mecánicas las formas de desplazamiento espacial propias de los cuerpos macroscópicos que están subordinadas a las leyes de la mecánica clásica. Suele afirmarse que en el desarrollo histórico el desplazamiento espacial ha precedido a otras formas de movimiento. Se alega, al decirlo, que es el más simple, y que el desarrollo, como se sabe, se opera de lo simple a lo complejo. Se aducía, asimismo, que el movimiento mecánico fue el primero que se estudió en la mecánica, y que por eso —debido a la unidad de lo lógico y lo histórico— había de ser el primario en el propio desarrollo de la materia.

Sin embargo, pese a su aparente fuerza de persuasión, este punto de vista se halla en contradicción con la realidad. La referencia a la unidad de lo lógico y lo histórico no puede ser aquí un argumento suficiente, ya que de hecho el proceso de conocimiento de la naturaleza dista mucho de seguir el mismo camino que ha seguido su desarrollo.

El movimiento mecánico, por su propia esencia, tampoco puede ser primario con relación a otras formas de movimiento. Para que eso fuese posible tenían que haber existido alguna vez en la naturaleza objetos materiales que poseyesen tan sólo movimiento mecánico y ninguna otra clase de movimiento. De dichos objetos tenían que haberse originado todos los cuerpos y, en consonancia con ello, el movimiento mecánico habría producido todas las demás formas de movimiento. Pero en la naturaleza es imposible, por principio, la existencia de tales objetos.

En el caso de existir, esos objetos no podrían tener ninguna estructura, ya que toda estructura, por sí sola, presupone la existencia en el cuerpo de algunos otros procesos distintos del movimiento mecánico, y éstos, según la definición, no deben existir. Tampoco podrían tener ningún vínculo exterior, ya que estos últimos presuponen en los microobjetos una interacción y un movimiento que es imposible

reducir al movimiento mecánico. Ahora bien, si no existiesen los nexos internos y externos, los microobjetos dados no podrían agruparse en formaciones más complejas ni originar átomos, moléculas, cuerpos macroscópicos y sus correspondientes formas de movimiento. Por consiguiente, es imposible que en la naturaleza existan tales microobjetos primarios, carentes de estructura y dotados únicamente de movimiento mecánico. A todo objeto material, además del desplazamiento espacial, le corresponden obligatoriamente otras formas de movimiento que expresan sus conexiones internas y externas. Por ejemplo, también el movimiento electromagnético, gravitacional y nuclear es propio de las partículas elementales. Ciertas formas de movimiento de los cuerpos macroscópicos no surgieron sobre la base del movimiento mecánico solamente, sino a base de diversas formas de movimiento de partículas elementales y campos.

Para evitar todo malentendido creemos necesario subrayar que cuando se habla en el presente trabajo de cuerpos macroscópicos y de sus formas correspondientes de movimiento no se pretende indicar que hubo un período en el mundo en el que no existían los cuerpos macroscópicos, sino tan sólo las partículas elementales. El universo es infinito y sus diversas regiones se hallan en distintos niveles de desarrollo. Por ello, si en una de esas regiones la materia existe en forma de partículas elementales y campos, en otra puede existir en forma de complejas combinaciones químicas, incluido el ser vivo con sus correspondientes formas de movimiento.

Al hablar en la presente obra del desarrollo histórico de las formas de movimiento y la materia nos referimos siempre a regiones finitas del espacio en las que se opera el tránsito de lo simple a lo complejo y de lo inferior a lo superior. Sin embargo, en otras regiones pueden producirse procesos inversos de desintegración y de tránsito a formas de movimiento menos complejas.

Las partículas elementales, además del desplazamiento

espacial, poseen la forma *electromagnética* de movimiento, que agrupa toda clase de procesos posibles en los campos eléctricos y magnéticos, así como las interacciones de las micropartículas con los campos dados. Portadores materiales de dicha forma de movimiento son el campo electromagnético y las partículas cargadas. El movimiento electromagnético tiene manifestaciones de extraordinaria diversidad. Las ondas electromagnéticas emitidas por los cuerpos, empezando por las radioondas y terminando por las cuantos-gamma de gran energía, se caracterizan por la distinta frecuencia de sus oscilaciones, y debido a ello interactuan de diverso modo con las partículas y los cuerpos macroscópicos. Sin embargo, todos los procesos electromagnéticos se caracterizan por ciertos rasgos generales, que se expresan en leyes electrodinámicas únicas. La velocidad de propagación de las señales en el campo electromagnético es rigurosamente constante y no depende de la velocidad y la dirección del movimiento de la fuente emanadora.

La forma siguiente de movimiento, la *gravitacional*, caracteriza la interacción de las micropartículas (y de los cuerpos macroscópicos) a través de los campos gravitatorios. La interacción gravitacional está descrita en forma elemental por la conocida ley de Newton, y con mayor exactitud por las leyes de la teoría general de la relatividad. Lo mismo que el campo electromagnético, el gravitacional posee una ininterrumpida distribución en el espacio y un número infinitamente grande de grados de libertad, de manera que para describirlo de un modo completo sería necesaria una relación infinita de parámetros. En ese campo la difusión de las señales se efectúa por el principio de la proximidad de un punto a otro. La velocidad de propagación de las interacciones en el campo gravitacional se considera igual a su velocidad en el vacío. Sin embargo, esa velocidad no está determinada experimentalmente, sino en teoría, a base del análisis de las ecuaciones correspondientes. Los datos experimentales sobre los procesos gravitatorios son, por ahora,

muy limitados, ya que se desconoce la manera de aumentar o disminuir artificialmente la tensión de los campos gravitatorios, el blindaje contra su acción, etc. Se supone que los cuantos o las partículas del campo gravitacional son los gravitones, lo mismo que los fotones lo son del campo electromagnético. Los gravitones, a diferencia de los fotones, todavía no han sido descubiertos directamente.

Una forma especial de movimiento en el microcosmos es el *nuclear*. Constituyen su contenido diversos procesos en los núcleos atómicos, en particular las interacciones de los protones y neutrones a través del campo mesónico o nuclear. Las diversas reacciones nucleares que conducen a la transformación de unos elementos químicos en otros son una manifestación del movimiento nuclear. Se supone que los portadores materiales o cuantos del campo nuclear son los mesones-π y neutros, partículas con una masa de 273 y 262 masas de electrones.

Todas las formas de movimiento de las micropartículas están indisolublemente unidas entre sí y en determinadas condiciones pueden transformarse recíprocamente. Esa transformación puede realizarse durante los procesos del paso recíproco de unas partículas elementales a otras. Así, diversos pares de partículas de carga opuesta, electrones y positrones, mesones positivos y negativos, etc., pueden transformarse en cuantos de campo electromagnético, y originarse, a su vez, en determinadas condiciones a costa de fotones de gran energía.

Hoy día no se conoce ninguna micropartícula que no pueda convertirse directa o indirectamente en otras partículas. La teoría moderna no es capaz de explicar, por ahora, la esencia interna de las transmutaciones recíprocas de las partículas elementales. Pero en la actualidad se sabe ya firmemente que todos esos procesos están supeditados a leyes rigurosas; algunas de ellas se han formulado ya en forma de las correspondientes ecuaciones de movimiento y de leyes de conservación de la masa, de la energía del espín (mo-

mento giratorio propio), de la cantidad de movimiento, de la carga eléctrica, etc. La existencia de esas leyes demuestra que el proceso de transformación de las partículas elementales representa una forma especial de movimiento que no se reduce a las arriba enumeradas. El problema planteado ante la ciencia es el de descubrir el contenido interno de esa forma de movimiento.

Los procesos indicados no agotan todas las formas de movimiento en el microcosmos. En los últimos años, debido al desarrollo de la teoría, se ha establecido la existencia de unos estados especiales de vacío en los campos, campos sin partículas, en los cuales el valor propio de la energía tiene un mínimo absoluto. Los campos vacíos interactúan constantemente con electrones, protones, neutrones y otras partículas, y el resultado de esa interacción es un cierto cambio de las propiedades fundamentales de las partículas, de la carga eléctrica, de la masa, del momento magnético. Debido a la interacción de los electrones con el vacío electromagnético se produce en los átomos cierto desplazamiento de los niveles energéticos de los electrones, y los propios electrones efectúan un peculiar movimiento oscilatorio en torno de posiciones determinadas. Los procesos en los campos vacíos representan una forma especial de movimiento, posiblemente más sencilla que las formas de movimiento de las propias partículas elementales.

En el movimiento de las microparticulas se basan todos los cambios en los cuerpos, y él es quien condiciona, en fin de cuentas, todos los procesos físico-químicos conocidos. Al mismo tiempo, en ese movimiento radica, como tendencia, la posibilidad de que surjan formas de movimiento más complicadas. La interacción de las micropartículas a través de campos diversos conduce inevitablemente a la formación de núcleos atómicos y, en determinadas condiciones, de átomos y moléculas. A estos microobjetos corresponden formas de movimiento cualitativamente nuevas.

La diferencia entre el movimiento de las partículas ele-

mentales, por un lado, y el movimiento de los átomos y moléculas, por otro, se revela en los siguientes aspectos. Según la teoría cuántica, el movimiento de cada micropartícula está en relación con una determinada longitud de onda, inversamente proporcional a la masa y a la velocidad de movimiento de la partícula $\lambda = \frac{h}{mv}$ (h es la constante de Planck). La longitud de la onda caracteriza las peculiaridades cuánticas del movimiento de las micropartículas y su diferencia del movimiento mecánico. Los átomos y las moléculas, como regla, poseen una masa mucho mayor que las partículas elementales, y debido a ello su longitud de onda será consecuentemente menor. Y eso significa que su desplazamiento espacial se asemeja en grado mucho mayor al movimiento mecánico, según una trayectoria, que al desplazamiento de partículas elementales. Resulta, por tanto, posible aplicar las leyes de la mecánica clásica a los sistemas atómico-moleculares.

Lo específico para los sistemas atómico-moleculares es la aparición de una forma de movimiento que se ha convenido en llamar *química*. La esencia de la forma química de movimiento radica en la interacción de los átomos, moléculas, iones y radicales, en el cambio de su estructura y en sus transformaciones recíprocas. Todas las transformaciones de las combinaciones químicas se basan en la redistribución de los nexos entre los átomos y las moléculas y en la reconstrucción de las capas electrónicas de los átomos y las moléculas.

Todos los fenómenos químicos, en fin de cuentas, están condicionados por el movimiento de las partículas elementales; sin embargo, no se reducen a él, ya que los procesos químicos caracterizan la existencia de objetos cualitativamente nuevos: los átomos y las moléculas. En los átomos y en las moléculas complejas hay gran cantidad de micropartículas cuyas conexiones son mucho más variadas que las

conexiones existentes entre dichas partículas en estado libre. Por ello, los métodos estadísticos de la mecánica cuántica actual no conducen siempre, ni mucho menos, a resultados satisfactorios. Para el análisis teórico de la estructura de las complejas combinaciones químicas y el establecimiento de los mejores procedimientos para lograr su síntesis química se precisa un considerable perfeccionamiento del dispositivo teórico y la aplicación, desde el punto de vista técnico, de novísimas calculadoras electrónicas. En el caso de que se cumplan todos esos requisitos —muy posibles por principio— podrá ponerse de manifiesto la esencia de la forma química del movimiento a base de formas de movimiento más simples de las partículas elementales. Esto, naturalmente, no debe entenderse en el sentido de que se eliminará por completo la forma química del movimiento. Esa forma de movimiento se conservará sin duda alguna; su carácter específico no puede eliminarse, pues los sistemas atómicos-moleculares, que son los portadores de esa forma de movimiento, existen siempre. Pero ya no habrá en ella nada de misterioso e inexplicable desde el punto de vista de los métodos cuantitativos de la teoría de los microfenómenos.

Cuando los átomos y las moléculas forman cuerpos macroscópicos surgen formas cualitativamente nuevas de movimiento, que comprenden procesos tales como el calor, la modificación de los estados agregados, la cristalización, el sonido y otros cambios en cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos. Estas formas de movimiento son inherentes a grandes conjuntos de micropartículas y no pueden aplicarse a partículas aisladas. El movimiento *térmico* viene a ser un proceso de desplazamiento y colisión recíproca de átomos y moléculas en el marco de un sistema macroscópico. La medida de la intensidad de ese movimiento es la temperatura, que es proporcional a las velocidades de movimiento de las partículas.

De entre las formas de movimiento existentes en la na-

turaleza inorgánica debemos mencionar, además, aquellas que caracterizan las modificaciones de los cuerpos cósmicos. Todos los cuerpos cósmicos del tipo de la Tierra, el Sol, las estrellas, galaxias, etc., representan objetos cualitativamente diversos que se subordinan a sus leyes específicas. Por ello han de poseer también sus propias formas especiales de movimiento, que no se reducen a las formas de movimiento de las micropartículas ni de los cuerpos macroscópicos que nos rodean. Hasta la fecha no se ha hecho la clasificación de esas formas de movimiento, pues no se conoce suficientemente bien su esencia.

La materia inorgánica, al desarrollarse en determinadas condiciones, origina la aparición de formas cualitativamente nuevas de movimiento biológico, que constituyen el contenido de diversos procesos vitales. F. Engels definía la vida como el modo de existencia de los cuerpos albuminoideos, modo que consiste en un ininterrumpido intercambio de sustancias entre el organismo y el medio circundante, en la unidad de los procesos de asimilación y desasimilación. Si abordamos los procesos vitales de un modo diferenciado veremos que no abarcan una, sino varias formas fundamentales de movimiento. Sin embargo, su clasificación tampoco ha sido elaborada, ya que se carece de una medida cuantitativa única de movimiento (para algunas formas de movimiento de la naturaleza inorgánica esa medida es la energía). Por tanto, partiendo del criterio arriba indicado, intentaremos distinguir algunas formas principales de movimiento en el marco de la naturaleza orgánica. Al hacerlo, partiremos del carácter específico de los objetos a los que son inherentes determinadas formas del movimiento y de las leyes generales a que están sometidas.

En la naturaleza orgánica existe una inmensa cantidad de especies vegetales y animales; sin embargo, las formas fundamentales del movimiento no pueden clasificarse por especies, ya que en ese caso tendríamos que señalar más de un millón de esas formas de movimiento, cosa evidente-

mente inadmisible. Pero si hacemos abstracción de la diversidad de especies existentes, podremos distinguir en el marco de la naturaleza orgánica *sistemas* biológicos de diverso orden que pueden servirnos de punto de partida para la clasificación. Estos sistemas fundamentales son: 1) la macromolécula de la albúmina, como unidad elemental de lo vivo; 2) la célula; 3) el organismo; 4) la especie, como unidad de individuos de un género determinado; 5) la biocenosis, que es el conjunto de especies difundidas en el medio habitado con unas condiciones más o menos homogéneas de existencia, y 6) toda la biosfera o región donde habita todo lo vivo en la Tierra. Cada uno de esos sistemas se subordina a sus propias leyes de desarrollo, y por ello pueden señalarse para cada una de ellas determinadas formas de movimiento interrelaciones. Pasaremos a examinar las más generales de ellas.

La forma más importante de movimiento en el marco de la naturaleza orgánica es el *metabolismo*, o sea el proceso de asimilación y desamilación. Todo cuerpo vivo es un sistema albuminoideo íntegro, autorregulador, que se halla indisolublemente unido a las condiciones de su existencia, posee una elevada reacción selectiva ante estímulos vitalmente importantes y está en condiciones de reproducir sistemas semejantes a sí. La presencia de esos rasgos distingue un ser vivo de los cuerpos inorgánicos.

El metabolismo presupone una constante renovación de todas las células debido a la asimilación por el organismo de diversas sustancias nutritivas del medio y a la expulsión de productos innecesarios para la actividad vital. A causa de ese proceso, se producen en todos los tejidos del organismo, incluidos los óseos, constantes desplazamientos de complejos atómico-moleculares. La célula, y todo el cuerpo vivo, constituyen una unidad de contrarios de estabilidad cualitativa e ininterrumpida variabilidad.

En la naturaleza inorgánica también existe el metabolismo, aunque en formas simplísimas, pues cada sistema in-

teractúa sin cesar con el medio circundante. Gracias a ello se produce la oxidación de los metales, la erosión y la aerosión de las rocas, el desplazamiento de grandes masas de sustancia de unos lugares a otros. Pero en la naturaleza orgánica el metabolismo se diferencia por principio del existente en la naturaleza inorgánica.

Esa diferencia se manifiesta en los siguientes aspectos: 1) durante el metabolismo en la naturaleza orgánica no se produce la destrucción, sino la constante reproducción de las formas y las funciones del organismo a lo largo de todo su ciclo vital; 2) el metabolismo tiene carácter selectivo, dirigido, ya que se asimilan sustancias estrictamente determinadas; 3) la composición química de los organismos, en el transcurso del ciclo vital, se renueva varias veces, mientras que en los sistemas inorgánicos esa rapidez de intercambio resulta imposible; 4) el tipo de metabolismo, comparativamente, se modifica con mayor rapidez en la naturaleza orgánica de acuerdo con las nuevas condiciones de existencia, y 5) las reacciones de los organismos ante los estímulos exteriores pueden ser extraordinariamente complejas y diversas.

En todos los organismos vivos, empezando por los más simples y acabando por los mamíferos altamente organizados, el metabolismo se supedita a leyes únicas. Todos los procesos de intercambio comprenden reacciones de oxidación, reconstitución, hidrólisis, etc. Dichas reacciones pueden producirse, asimismo, en cuerpos inorgánicos, pero en los organismos vivos se realizan con una intensidad y rapidez incomparablemente mayores, condicionadas por la acción catalítica de los fermentos albuminoideos.

Aparte del metabolismo, que constituye la base de la vida, existen en la naturaleza orgánica otras formas de movimiento. Una de ellas está relacionada con los procesos de *reflejo*, propios de todos los organismos. En la naturaleza orgánica, la capacidad de reflejar se manifiesta en forma de excitación y sensación y, en un nivel superior, en forma

de pensamiento. Los procesos de reflejo están íntimamente ligados al metabolismo; sin embargo, no se reducen plenamente a él. La excitación es la capacidad de los organismos de reaccionar adecuada y selectivamente a acciones de importancia vital. La sensación viene a ser la excitación diferenciada, que presupone la capacidad de los organismos de reaccionar por separado a la luz, al calor, al sonido, a los estímulos químicos, etc. La sensación es propia únicamente de organismos con un desarrollo elevado, poseedores de sistema nervioso y diversos órganos sensoriales.

Tanto la excitación como la sensación surgen históricamente sobre la base de la capacidad de reflejar, que es inherente a toda la materia en su conjunto, incluida la inorgánica. Es sabido que cualquier sistema material interactúa incesantemente con otros sistemas, influye sobre ellos y se modifica a su vez debido a la acción exterior. Semejantes cambios concuerdan siempre de un modo determinado con el estado de los objetos materiales que influyen sobre el sistema. Este último diríase que "plasma" en sí el estado dado y se modifica gracias a ello. De este modo, la capacidad de reflejar viene a ser la capacidad que tiene cada sistema material de reaccionar de un modo plenamente determinado a los estímulos exteriores, modificándose bajo su influjo. La utilización práctica de la propiedad de reflejar se consigue mediante diversos aparatos destinados, precisamente, a "plasmar" el estado del medio medido.

Al aparecer la vida, la propiedad de reflejar, inherente a los cuerpos inorgánicos, se transforma, en su devenir histórico, en excitación y, más tarde, en sensación. El ser vivo, lo mismo que todo cuerpo físico, refleja en su estructura diversas acciones físico-químicas: gravitacionales, electromagnéticas, mecánicas, etc. Pero posee, además, una elevada reacción selectiva ante estímulos vitalmente importantes: el calor, la luz, diversas sustancias químicas. Esta reacción es la que toma cuerpo en forma de excitación y sensación.

Además de esta forma de movimiento, el organismo,

como sistema biológico completo, posee, evidentemente, otras formas. En particular, diversos procesos relacionados con la transmisión de los caracteres hereditarios y la modificación de los mismos bajo la acción de las condiciones del medio circundante pueden ser considerados como una forma especial de movimiento, ya que están subordinadas a sus propias leyes estáticas, estudiadas por la genética.

De las formas de movimiento inherentes a sistemas más generales, a la especie y a la biocenosis, debemos señalar, ante todo, las diversas relaciones *dentro de las especies* y *entre ellas*, supeditadas a la ley de la selección natural. Dichas relaciones dependen estrechamente del metabolismo, pero no se reducen a él.

Finalmente, en el marco de la biosfera existen unas formas de movimiento especial que caracterizan las multifacéticas relaciones de lo orgánico y lo inorgánico en la escala de todo el planeta. Como resultado de la acción de esas formas de movimiento se modifica la faz entera de la Tierra como planeta durante todo el tiempo que existe la vida.

El producto superior del desarrollo de la naturaleza orgánica es el hombre; su aparición originó nuevas formas sociales de movimiento. En la sociedad, lo mismo que en toda la naturaleza, existen sistemas de orden diverso: el individuo, la familia, la colectividad de trabajo, la ciudad, el Estado y, por fin, la sociedad en su conjunto.

Cada uno de esos sistemas se subordina, además de a las leyes generales, a sus propias leyes específicas; este hecho permite suponer que en la sociedad existen distintas formas de movimiento. Pero como su clasificación no se ha establecido aún, no nos detendremos en ellas. Examinaremos tan sólo una forma de movimiento: el *pensamiento*.

El pensamiento es el proceso por el cual la realidad se refleja en representaciones sensibles, conceptos abstractos y leyes científicas. Por su contenido fisiológico es el resultado de la interacción entre varios miles de millones de células de la corteza cerebral. Esta interacción tiende a reflejar el

mundo exterior, así como a regular los procesos que se producen en el organismo humano. El pensamiento está indisolublemente ligado a otras formas de movimiento y va acompañado siempre de procesos térmicos, electromagnéticos, químicos y metabólicos en el cerebro. Sin embargo, no se reduce a ellos. El contenido del pensamiento no son los procesos dados, sino el reflejo del mundo exterior en representaciones sensibles y conceptos abstractos. Por ello, aunque consiguiéramos descomponer el pensamiento en las formas de movimiento simple que le condicionan, no podríamos agotar, de todos modos, sus peculiaridades específicas. Para descubrir plenamente el contenido del pensamiento tendríamos que tomar en cuenta, además de todas las modificaciones internas de la corteza cerebral, las múltiples conexiones del hombre dado con el mundo circundante, ya que el contenido del pensamiento es, justamente, el reflejo de esas conexiones. En ello radica, precisamente, la diferencia de principio entre el pensamiento y las demás formas de movimiento.

Así, pues, si resumimos todo lo dicho podremos distinguir las siguientes formas fundamentales de movimiento:

I. *En la naturaleza inorgánica,* el desplazamiento espacial, propio de todos los objetos materiales sin excepción; el movimiento de las partículas elementales y los campos (gravitacional, electromagnético, nuclear, los procesos de transformación recíproca de partículas elementales y las interacciones en los campos vacíos); el movimiento de los átomos y las moléculas, en el cual se basan todas las reacciones químicas; el movimiento de los cuerpos macroscópicos (calor, sonido, variación de los cuerpos agregados, procesos de cristalización, etc.); el movimiento de sistemas cósmicos de diverso orden (planetas, estrellas, sistemas estelares, etc.).

II. *En la naturaleza orgánica* tenemos las siguientes formas de movimiento: de las macromoléculas de la albúmina y la célula (procesos de intercambio); del organismo (metabolismo, procesos de reflejo y transmisión de los caracteres

hereditarios; de la especie y la biocenosis (toda clase de relaciones dentro de las especies y entre ellas); de la biosfera (procesos de interacción de toda la naturaleza orgánica e inorgánica en la Tierra).

III. *En la sociedad* existen las formas de movimiento propias de un individuo, de una colectividad, de un Estado y de la sociedad en su conjunto. Se incluyen aquí el pensamiento y toda clase de cambios sociales, relacionados con el desarrollo de las fuerzas productivas, de la ciencia, la cultura, las relaciones recíprocas de clase, etc.

La cantidad general de formas de movimiento existentes en el universo es sumamente grande, ya que la realidad objetiva es inagotable en todas sus manifestaciones.

La complicación de las formas de movimiento en el desarrollo de la naturaleza constituye, al mismo tiempo, un proceso de complicación de los vínculos de los objetos materiales. En la esfera de la naturaleza inorgánica no existen más que los nexos físicos que presuponen la interacción, bien a través de campos diversos, bien mediante el contacto directo. En la naturaleza viva aparecen vínculos biológicos completamente nuevos, que se expresan en diversas relaciones dentro de las especies y entre las especies. Por lo que se refiere a la sociedad, surgen en ella relaciones aún más complejas: de producción, nacionales, estatales, de clases, familiares, etc.

Tanto los vínculos biológicos como sociales no se reducen por principio a los físicos, y tratar de explicarlos aplicando los métodos de la física no produce resultados satisfactorios. Por esta misma razón carecen de toda consistencia las tentativas hechas por los partidarios del determinismo mecanicista de hacer que todos los fenómenos del mundo material, incluidos los sociales, deriven de leyes físicas complejas.

Cada forma de movimiento más compleja surge históricamente de la interacción de formas menos complejas, que constituyen la base material de la forma compleja. Sin

embargo, las formas menos complejas existen en las más complejas con un aspecto distinto y desempeñan un papel subordinado. Sus manifestaciones están rigurosamente delimitadas por las leyes de las formas de movimiento más complejas. Por ejemplo, la forma térmica de movimiento en la naturaleza inorgánica existe en una gama de temperaturas muy amplia: desde el cero absoluto hasta mil millones de grados. Pero en los organismos vivos existe siempre en un intervalo de temperaturas muy restringido y se regula por los procesos biológicos. En la naturaleza inorgánica, muchas reacciones químicas de oxidación y reconstitución transcurren con relativa lentitud, pero esas mismas reacciones pueden transcurrir con extraordinaria intensidad en los organismos vivos, debido a la influencia de las formas del movimiento biológico, en particular por la acción catalítica de los fermentos albuminoideos. Por otra parte, los propios procesos biológicos del organismo humano pueden depender de una forma de movimiento más compleja: el pensamiento. Es sabido que el estado psíquico del hombre influye sustancialmente en su estado fisiológico, y las desviaciones de la normalidad psíquica pueden originar serias enfermedades internas.

De este modo, entre las formas inferiores y superiores de movimiento existe un vínculo bilateral: en el desarrollo histórico de la materia las primeras originan a las segundas, pero estas últimas, al surgir, ejercen una influencia esencial sobre las propiedades y leyes de exteriorización de las primeras.

La influencia recíproca de unas formas de movimiento sobre otras se subordina al principio de la acción próxima. Eso significa que están directamente relacionadas entre sí sólo aquellas formas de movimiento que se encuentran próximas unas de otras en la escala del desarrollo evolutivo de la materia. En cambio, las formas de movimiento que se diferencian considerablemente entre sí por el grado de complejidad están relacionadas entre sí indirectamente, por medio

de formas intermedias. De un modo análogo se efectúan sus recíprocas transformaciones. Las formas de movimiento que se refieren a una esfera de fenómenos y que difieren poco entre sí por el grado de su complejidad trasmutan directamente entre sí por regla general. Así sucede, por ejemplo, con las transformaciones recíprocas del movimiento mecánico, electromagnético y térmico. Pero si las formas de movimiento se diferencian considerablemente entre sí por su grado de complejidad, su transformación recíproca es imposible. Sin embargo, existe entre ellas una relación indirecta a través de otras formas intermedias de movimiento. Por ejemplo, el movimiento mecánico no puede convertirse en pensamiento, pero indirectamente está ligado a él. Si sobre una parte del organismo humano se ejerce una acción mecánica, ésta produce una excitación fisiológica de los nervios sensibles en los cuales se originan diversos procesos térmicos, electromagnéticos y químicos. Luego la excitación fisiológica se transmite en bio-corrientes por las vías nerviosas al centro sensorial de la corteza cerebral, donde, después de otras muchas transformaciones, la energía del estímulo exterior provoca la imagen correspondiente en la conciencia.

La sucesión inversa de los procesos se produce cuando el pensamiento se relaciona con formas inferiores de movimiento. Las señales que se originan en la corteza cerebral se transforman, primeramente, en excitación fisiológica; esta última se transmite por las vías nerviosas y provoca, al llegar a los músculos correspondientes, un conjunto de diversas reacciones físico-químicas, que conducen a la contracción de los mismos y a la realización de una acción adecuada, un fin.

El vínculo indirecto entre formas de movimiento totalmente heterogéneas refleja la ley que ha presidido el desarrollo de la materia. En el desarrollo de la naturaleza, las formas inferiores de movimiento no se han convertido de seguida en superiores, sino que se originaron, primeramente, numerosas formas intermedias que han existido centenares de millones de años y que, incluso, se conservan hasta

hoy. Al observar en condiciones de laboratorio el vínculo entre las formas inferiores y superiores de movimiento vemos en ellas una reproducción abreviada de los procesos que tuvieron lugar en el desarrollo histórico de la naturaleza. En lo singular se expresa lo universal.

En el desarrollo de la naturaleza, las formas más complejas de movimiento surgen frecuentemente mucho antes de que los procesos anteriores a ellas hayan agotado las posibilidades de su futura complicación. El ininterrumpido proceso de desarrollo parece ramificarse en numerosas direcciones y pierde todo carácter lineal. A la par de las formas del movimiento anterior, que continúan desarrollándose, surgen otras nuevas, con la particularidad de que el comienzo de estas últimas no coincide con el ciclo de desarrollo final de las formas de movimiento anteriores a ellas. Así, las diversas combinaciones moleculares no aparecen después de que se hayan agotado las posibilidades de complicación de los átomos, es decir, después de que se han formado los elementos transuranianos, sino mucho antes e independientemente de ello. En las estrellas de clase espectral temprana se observan ya combinaciones simplicísimas constituidas casi exclusivamente por hidrógeno y helio.

En algunos casos, los fenómenos más complejos, originados por el desarrollo de formas de movimiento anteriores, no son del todo indispensables para el desarrollo de las sucesivas formas superiores de movimiento, que pueden evolucionar también a base de fenómenos mucho menos complejos. Así, por ejemplo, la vida no se origina a base de elementos químicos pesados, aunque estos últimos existen en la corteza terrestre, sino a base del oxígeno, el carbono, el ázoe, el hidrógeno y el calcio, a quienes corresponde la masa fundamental de la sustancia de todos los organismos vivos. La aparición de nuevas formas de movimiento interrumpe la gradualidad cuantitativa del desarrollo y significa el paso a una nueva cualidad, en la cual las viejas formas de movimiento desempeñan un papel subordinado.

Pero no todo movimiento se complica en igual medida y no siempre se produce la complicación únicamente. El desarrollo, en algunos casos, parece producirse en un solo plano, y sus formas de movimiento diríase que tienen un orden de complejidad idéntico. Tales son, por ejemplo, las diversas formas de movimiento de las partículas elementales. En otros casos la complicación de unas formas de movimiento puede estar relacionada con la simplificación relativa de otras formas. Cuando las partículas elementales forman los átomos, las moléculas y los cuerpos macroscópicos, sus conexiones electromagnéticas y gravitacionales se hacen más complejas, así como sus correspondientes formas de movimiento, con la particularidad de que en la práctica este proceso puede continuar infinitamente. La forma del movimiento nuclear, sin embargo, se complica solamente hasta un cierto límite, en concordancia con el límite superior del sistema periódico de los elementos. Las fuerzas nucleares tienen un radio de acción muy pequeño, de un orden de 10^{-13} *cm*, y por ello todas las combinaciones atómicas y moleculares no pueden condicionar en modo alguno su complicación.

Por otra parte, suele ocurrir también que, al formar las micropartículas sistemas más complejos, algunas formas de movimiento se simplifiquen. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en los casos de desplazamiento espacial.. El movimiento de las micropartículas obedece a complejas leyes ondulatorias y no constituye un proceso mecánico. Sin embargo, cuando las partículas se asocian en moléculas y cuerpos macroscópicos, las propiedades ondulatorias se hacen prácticamente invisibles, ya que la longitud de la onda ($\lambda = \frac{h}{mv}$) tiende a cero al aumentar la masa. Y, consecuentemente, las leyes cuánticas de movimiento dejan paso a las leyes de la mecánica clásica. Estas últimas son más simples y se manifiestan como un caso particular límite de las leyes cuánticas.

No sólo en la naturaleza inorgánica, sino también en el desarrollo de los organismos vivos resulta posible la relativa simplificación de unas partes a la par que la complicación de otras.

También en la sociedad el progreso conseguido en un aspecto va acompañado, frecuentemente, de regresión en otros, aunque el desarrollo, en su conjunto, siga una línea ascendente.

Con relación a lo dicho, hemos de señalar que un sistema íntegro no siempre resulta más complejo en todos los sentidos que sus partes componentes. En algunos casos, una parte, por sus determinadas formas de movimiento, puede ser más compleja que el todo, mientras que en relación con otras formas de movimiento el todo, naturalmente, es más complejo que cada una de las partes integrantes.

Al mismo tiempo, en el proceso de desarrollo de la materia existen también otras leyes importantes en las relaciones recíprocas de las formas de movimiento. Una de ellas puede expresarse del siguiente modo: cuanto más compleja y altamente organizada sea la forma del movimiento, tanto más estables y restringidas son las condiciones de su existencia. El movimiento de las partículas elementales puede existir en todas las condiciones físicas conocidas. En cambio, el movimiento químico sólo es posible si hay combinaciones moleculares. En las profundidades de las estrellas, con una temperatura de millones de grados, las combinaciones químicas no pueden existir y, por consiguiente, es imposible en ellas la forma química de movimiento.

Las condiciones de desarrollo en los procesos biológicos son aún más restringidas. La vida, en las formas que conocemos, resulta posible siempre que haya ácido carbónico, oxígeno, agua, diversas sustancias minerales y una temperatura determinada.

Son muy limitadas las condiciones físico-químicas de existencia de los mamíferos superiores, incluido el hombre. Este puede ampliar su medio habitable gracias tan sólo a la

utilización de ropa, viviendas, transporte y otros medios que son el producto del desarrollo de las fuerzas productivas.

Vamos a pasar ahora al examen concreto de cómo se efectúa el desarrollo de diversos objetos materiales, comenzando por las micropartículas y terminando por los gigantescos sistemas cósmicos.

3. Desarrollo de los microobjetos.

Existe una profunda conexión interna entre los fenómenos macroscópicos y los procesos en la esfera del microcosmos. Todos los cambios físico-químicos de los cuerpos están condicionados, en fin de cuentas, por los nexos e interacciones de moléculas, átomos y partículas elementales. Por consiguiente, para comprender correctamente las causas del desarrollo en el macrocosmos debemos aplicar también el principio del desarrollo a la esfera de los microfenómenos.

La solución concreta de ese problema tropieza con serias dificultades. En la física y química modernas hay muy pocos datos efectivos sobre las formas de desarrollo de las micropartículas; estas últimas, además, no suelen considerarse históricamente como algo que cambia con el tiempo, sino como eternas y totalmente invariables. Se cree a veces que todos los procesos del microcosmos son plenamente reversibles y que es imposible destacar alguna tendencia preferente en el movimiento y los vínculos de las micropartículas. De aquí deducen algunos autores que en el microcosmos no hay ni puede haber ningún desarrollo, y que éste sólo es posible en la esfera de los fenómenos macroscópicos.

De ningún modo podemos estar de acuerdo con semejantes concepciones, ya que conducen a la negación de la unidad del mundo y establecen una divisoria infranqueable entre los fenómenos microscópicos y macroscópicos. Si en el microcosmos no hay ningún desarrollo, tampoco debe haberlo en el macrocosmos, ya que las propiedades de este último

dependen de los microprocesos. Pero esto, como se sabe, contradice a la realidad, y, por consiguiente, al reconocer el principio de la unidad del mundo, debemos aplicar la idea del desarrollo a la esfera de los microfenómenos. Lenin escribía que "debemos unir, entrelazar, hacer compatible el principio universal del desarrollo con el principio universal de la *unidad del mundo*, la naturaleza, el movimiento, la materia, etc.".[3]

En su aspecto más general, el desarrollo de los microobjetos puede definirse como la complicación natural y sujeta a leyes de su estructura, conexiones y formas de movimiento. Para hablar concretamente de esa complicación es necesario destacar algunas combinaciones, las más sencillas, capaces de originar otras formas de materia. Al hacerlo se ha de tener en cuenta, como es natural, que las combinaciones dadas son simples no en un sentido absoluto, sino relativo, ya que, objetivamente, todo cuerpo es inagotable en su estructura y propiedades.

Los microobjetos más simples son las partículas elementales y los campos, así que por ellos empezaremos el análisis de las formas de desarrollo en el microcosmos.

En la física moderna se entiende por partículas elementales los microobjetos que interactúan como un todo único en todos los procesos conocidos y no están constituidos por otros corpúsculos y campos conocidos en la actualidad. Hoy día se conocen unas treinta partículas diversas: fotones, neutrino, electrones, positrones, mesones de diversas masas, protones, neutrones e hiperones. A casi todas las partículas conocidas les corresponde una determinada antipartícula, que se diferencia de la primera por el signo de la carga eléctrica o del momento magnético. La mayoría de las partículas conocidas son inestables. Se originan en las interacciones de gran energía y no tardan en desintegrarse en corpúsculos de masa menor, que se convierten, a su vez, en microobjetos

[3] V. Lenin. *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, t. 38, pág. 251.

estables. Así, por ejemplo, los hiperones se descomponen en protones, neutrones y mesones; los mesones de gran masa forman mesones de masa menor, y estos últimos se transforman, a su vez, en electrones, positrones y neutrino. Entre las partículas estables debemos citar, en primer lugar, los fotones, el neutrino, los electrones, protones y neutrones (en los núcleos atómicos). Los positrones, antiprotones y antineutrones existen en forma estable cuando no hay formas habituales de sustancia.

Las partículas elementales poseen múltiples propiedades: masa, espín o momento giratorio propio, una cierta paridad, etc. Algunas partículas tienen también carga eléctrica positiva o negativa y su correspondiente momento magnético. Cada una de ellas está indisolublemente unida a diversos campos: electromagnético, gravitacional, etc., e interactúa constantemente con ellos, debido a lo cual pueden modificarse las propiedades de las partículas. La indispensable interdependencia de las partículas y los campos, la multiplicidad de sus propiedades y la posibilidad de las transformaciones universales son una convincente prueba de que las partículas elementales no son los elementos últimos y absolutamente simples de la materia, sino que poseen una estructura muy complicada. En la actualidad se están haciendo ya los primeros intentos de penetrar en esa estructura. Así, los experimentos de dispersión de electrones de gran energía en núcleos de átomos de hidrógeno han demostrado que el protón no es, ni mucho menos, una bolita cargada sin estructura, sino que existe como una formación sumamente compleja, con un "núcleo" denso en el centro, rodeado por una nube de mesones-π^+.

La existencia de estructura en las micropartículas plantea la cuestión del grado de su recíproca complejidad mutua. La solución de ese problema supondría un paso importante en el conocimiento del desarrollo en la esfera de las partículas elementales. Ahora bien, ¿qué propiedad de las mismas podría ser tomada como medida de su relativa

complejidad? Figuran entre las propiedades fundamentales de las partículas el espín, la masa, la energía propia, el momento magnético, la paridad, la pertenencia a un determinado tipo de estadística, etc. Ciertas variedades de partículas tienen, además, carga eléctrica. Resulta evidente que no toda propiedad de las enumeradas puede servir para medir la relativa complejidad. No se puede, por ejemplo, considerar como medida la carga eléctrica, ya que todas las partículas cargadas poseen una carga igual por su magnitud absoluta y las partículas neutrales no tienen carga.

Lo mismo cabe decir del espín y del tipo de estadística de él deducido, del momento magnético y de la paridad, que pueden ser iguales para partículas totalmente heterogéneas.

De todas las propiedades únicamente la masa propia es distinta en las diversas partículas y aumenta sin cesar a medida que se pasa de electrones a mesones, nucleones e hiperones. Con este motivo cabe suponer que es, precisamente, la masa de las partículas la medida de su relativa complejidad recíproca. Semejante suposición no contradice los hechos observados, sino que, por el contrario, concuerda con ellos plenamente. En todos los microprocesos las partículas de gran masa propia y energía cinética se desintegran en partículas con una masa menor: los hiperones se descomponen en nucleones y mesones; los mesones pesados, en ligeros, y éstos en electrones positrones y neutrino. Es cierto que, en ocasiones, algunas partículas con pequeña masa propia engendran partículas de gran masa. Por ejemplo, el mesón-π dotado de bastante energía puede originar a su paso por la materia una cascada de partículas pesadas. Mas estos casos no contradicen lo dicho. Primero, las partículas pesadas no se originan solamente a costa de las ligeras, sino como resultado de la interacción de estas últimas con los núcleos atómicos o con otras partículas. Segundo, se ha de tener en cuenta que la partícula de gran energía posee, en consonancia, una gran masa, ya que la masa y la energía

están indisolublemente unidas entre sí según la ley $E=mc^2$.[4] Sin embargo, en algunos casos es más cómodo operar con el concepto de energía propia de las partículas que con el de masa, ya que esta última no existe en una sola forma, sino, por lo menos, en tres: en forma de masa en reposo de las partículas, de masa suplementaria originada por el aumento de velocidad según la fórmula

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(donde m es la masa del cuerpo en estado de movimiento; m_0, la masa en reposo; v, la velocidad del cuerpo, y c, la velocidad de la luz) y, por fin, en forma de masa en movimiento propia de los fotones: $m = \frac{h\nu}{c^2}$ (donde h es la constante de Planck, y ν, la frecuencia de las oscilaciones del fotón). Al estudiar las interacciones de las partículas elementales, resulta impropia, en la mayoría de las veces, referirse simultáneamente a esas tres manifestaciones de la masa, empleando exclusivamente para ello el término de "masa"; resulta mucho más cómodo emplear el concepto de energía que abarca la energía propia, inherente a las partículas por la ley $E = mc^2$ y su energía cinética. Esto no significa, claro está, que la masa y la energía son idénticas. Se trata de propiedades distintas de la materia. Si la masa es la medida de la inercia y de los nexos gravitacionales, la energía representa la medida cuantitativa del movimiento que se expresa en la capacidad del sistema material de producir trabajo. Ahora bien, según la ley $E = mc^2$, la energía puede considerarse como el equivalente *cuantitativo* de la masa en todas las transformaciones de las micropartículas. Teniendo en cuenta lo dicho, lo racional es considerar como

[4] E, energía; m, masa propia, y c, velocidad de la luz. *(N. del T.)*

medida de la relativa complejidad de las micropartículas toda su energía total.

Esta suposición concuerda plenamente con las teorías actuales y los hechos proporcionados por los experimentos. En todos los microprocesos sólo las partículas dotadas de gran energía propia y cinética pueden convertirse en partículas de menor energía. La transformación inversa es imposible, ya que estaría en contradicción con la ley de la conservación de la energía. Por algunas de sus propiedades, las partículas iniciales son más complejas que los productos de su desintegración, y como las primeras y las segundas se diferencian, ante todo, por su energía propia, lo natural es que la magnitud de esa energía se considere como una de las medidas más importantes de la relativa complejidad de las partículas.

Esta concepción de la energía no sólo está confirmada por los procesos de transformación de las partículas, sino también por otros hechos. A medida que crece la energía aumentan considerablemente los grados de libertad de cada partícula y se hacen cada vez más complejas y diversas sus conexiones tanto internas como externas. Esto se expresa en el cambio del carácter de las interacciones de la partícula con el campo exterior. Por ejemplo, los electrones que se mueven a una velocidad semejante a la de la luz pueden emitir intensivamente cuantos de campo electromagnético (el efecto del electrón "luminiscente"). Al aumentar la energía del movimiento, aumenta la masa de las partículas, se modifica el ritmo de los procesos que tienen lugar en ellas, se complican sus conexiones espacio-temporales y con otros cuerpos.

La idea de que el grado de complejidad de las partículas depende de la magnitud de su energía total concuerda también con la tesis del materialismo dialéctico sobre la indisolubilidad de la materia y la energía. De acuerdo con la ley de la proporcionalidad de la masa y la energía, ésta viene a ser la propiedad interna de todos los objetos materiales. La

energía total $E = mc^2$, propia de un cuerpo, es la energía que tendrían los cuantos del campo electromagnético si todas las partículas materiales del cuerpo dado se hubiesen convertido en radiación.

No resulta difícil calcular que 1 *g* de sustancia al transformarse en radiación emitiría una energía de $9 \cdot 10^{20}$ *ergios*, suficientes para calentar 200,000 *ton* de agua desde 0 hasta 100°. Pero en la mayoría de los microprocesos se convierte en radiación una parte insignificante de sustancia, y por ello una pequeña parte de toda la energía íntimamente inherente a los cuerpos se libera en forma activa. La energía restante permanece en estado pasivo o encadenado, en forma de una cierta *posibilidad*, que caracteriza la capacidad de la materia para toda suerte de transformaciones. Esta posibilidad se convierte en realidad a medida que se crean grandes presiones, temperaturas y otras condiciones físicas necesarias para el desarrollo de intensas reacciones nucleares. Con la particularidad de que cuanto mayor es la magnitud de la energía propia inherente a los microobjetos, tanto mayor es el número de sus posibles transformaciones internas y, en concordancia con ello, más considerable será el trabajo realizado a costa de esas transformaciones. Los hiperones cargados, por ejemplo, realizan un número de transformaciones internas mucho mayor que los electrones, ya que el electrón surge como uno de los productos de la desintegración del hiperón que, al desintegrarse, origina también otros microobjetos.

Pero el gran número de transformaciones posibles es siempre un indicio importantísimo de la relativa complejidad del objeto, pues caracteriza las diversas potencias contenidas en el cuerpo. Teniendo en cuenta que la magnitud de ese número depende del valor de la energía, volvemos a deducir que la plena energía de las partículas constituye el criterio más importante del grado de complejidad de unas en relación con otras.

De lo dicho se desprende que el grado de la relativa

complejidad interna no constituye una característica completamente invariable de las partículas, sino que es capaz de modificarse en consonancia con el tipo de sus conexiones y la velocidad del movimiento. Por ejemplo, el electrón de pequeña energía es menos complejo que el mesón-π, ya que constituye tan sólo uno de los productos de la desintegración del mesón-π y posee un número menor de posibles transformaciones internas. Sin embargo, si la energía del electrón aumenta y supera los 500 millones de electrón-voltios, el número de sus transformaciones internas o grados de libertad se hace mayor que el del mesón, pudiendo engendrar el mesón al pasar cerca del núcleo atómico. Lo mismo cabe decir con relación a otras partículas. En esa variabilidad del grado de su complejidad relativa, según la energía de la interacción, radica una de las diferencias esenciales entre partículas elementales y cuerpos macroscópicos, cuyo grado de complejidad tiene una característica bastante estable.

En relación con lo dicho, queremos señalar que la relativa complejidad interna de las micropartículas no sólo se expresa en la magnitud de la energía, sino también en otras propiedades, que en el futuro podrán ser descubiertas. En los átomos y las moléculas hay no una, sino varias propiedades que pueden servir de criterio de su relativa complejidad. Al parecer, lo mismo cabe decir con respecto a las partículas elementales.

Además, el hecho de que la posibilidad de las transformaciones internas se incremente al aumentar la energía de las partículas induce a la conclusión de que esa posibilidad, al disminuir la energía, ha de restringirse, haciéndose más simple la organización estructural de los microobjetos. Las últimas investigaciones en la esfera de los microfenómenos demuestran que esa ley se produce en la realidad. Los campos vacíos son los que poseen el menor valor de energía entre las formas conocidas de la materia; estos campos deben ser, evidentemente, formaciones relativamente más simples que las partículas elementales.

Según la teoría actual, a cada tipo de partículas le corresponde un campo determinado, cuyos cuantos son. Los fotones, por ejemplo, se manifiestan como cuantos del campo electromagnético; los electrones y positrones, como cuantos del campo de electrónicos y positrónicos; los mesones como cuantos de los campos mesónicos, etc. Las diversas micropartículas se consideran como estados de excitación de sus campos correspondientes. Cada uno de esos estados se caracteriza por un determinado valor de energía propia en consonancia con la masa en reposo de la partícula.

Pero, además de esos estados, existen otros especiales de no excitación de los campos, que han recibido el nombre de vacíos. El campo, en estado de vacío, no existe en forma de cuantos, sino en forma de cierta sustancia continua, que "llena" por completo el espacio. Diríase que el propio espacio expresa la extensión de los campos y las partículas.

Los campos vacíos poseen cierto valor mínimo de energía propia, que en algunas "oscilaciones" del campo tiende a cero. Sin embargo, los campos vacíos interactúan constantemente con las partículas, provocando el cambio de sus propiedades: la masa, la carga, el momento magnético, etcétera.

Entre los estados de excitación y de vacío de los campos no existe una divisoria infranqueable, y los primeros pueden transformarse en los segundos siempre que el campo absorba suficiente energía. Por ejemplo, durante la absorción, en las proximidades del núcleo atómico, de un fotón de gran energía, se originan partículas pares: el electrón y el positrón. El campo electrónico-positrónico, en este caso, pasa del estado de vacío, donde el número general de las partículas es igual a cero, a un estado de excitación, que se caracteriza por un número finito de electrones y positrones. De manera análoga pueden engendrarse pares de mesones y otras partículas y antipartículas al aumentar la energía de los fotones. Dichos fenómenos demuestran que los campos vacíos son formas de materia relativamente más simples que las

partículas elementales, que representan los estados de excitación de los campos. Como los primeros se distinguen de estos últimos por el valor de su energía propia, nos convencemos una vez más de que la energía es la medida de la relativa complejidad de los microobjetos.

Debemos señalar, sin embargo, que no basta establecer la dependencia entre el grado de complejidad y la magnitud de la energía para resolver el problema del desarrollo en la esfera de las partículas elementales, aunque constituye el primer paso imprescindible en el camino de la solución del problema dado. Como hoy día no se ha descubierto todavía la estructura de las partículas elementales, resulta imposible señalar cuáles son los microobjetos que pueden anteceder a las partículas elementales en el desarrollo histórico de la materia en determinadas esferas del espacio. En particular, no puede afirmarse que esos microobjetos sean los campos vacíos, aunque son, relativamente, menos complejos que las partículas elementales. Es muy posible que dichos campos sean tan inseparables de las partículas que no puedan existir por sí solos y se originen al mismo tiempo que ellas de alguna "promateria" más elemental.

Una aportación esencial para la solución del problema que examinamos son los trabajos de Heisenberg y otros científicos encaminados a crear la teoría del campo único y no lineal. La idea básica de dicha teoría radica en que todas las variedades conocidas de partículas elementales representan diversas combinaciones de una cierta "promateria" que puede existir en dos variantes. Una de ellas tiene el valor de un espín semientero y está supeditada a la estadística de Fermi, mientras que la otra, con un valor entero de espín, se subordina a la estadística de Bose. Heisenberg planteó la tarea de crear una ecuación única para la "promateria" dada, de la cual pudieran deducirse los tipos fundamentales de las partículas elementales, sus propiedades y el carácter de las interacciones. Los trabajos que ha publicado demuestran que se ha alcanzado ya un progreso sus-

tancial en la solución del problema dado,[8] pese a que se han puesto de manifiesto nuevas dificultades de extraordinaria importancia.

Si la idea básica de la teoría del campo no lineal referente a la existencia de una "promateria" o de un cierto campo subcuántico es cierta, en un futuro relativamente próximo podremos conocer tal vez los simples microobjetos que dan origen a las propias partículas elementales, y en ese caso podrá formularse concretamente la idea del desarrollo aplicada a las formas dadas de la materia.

Creemos necesario subrayar nuevamente que al hablar del origen histórico de las partículas elementales nos referimos tan sólo a esferas limitadas del espacio, pero no a todo el infinito universo en su conjunto. En el universo, tomado en su conjunto, pueden existir en cada momento de tiempo dado diversas clases de materia, todo lo compleja que se quiera, y si en unas esferas se originan partículas elementales de algunas clases de materia más simples, en otras, por el contrario, puede tener lugar la desintegración de cuerpos complejos en los microobjetos dados. Ambos procesos, el de complicación y desintegración, constituyen el contenido interno del infinito desarrollo del universo, que se manifiesta en forma de la unidad de los contrarios. Con referencia a todo el universo, no cabe hablar de un desarrollo infinito y progresivo, tendiente a formas cada vez más complejas, sino de infinitos cambios irreversibles, cuyo sentido explicaremos más adelante.

Así, pues, la complicación en la esfera de las partículas elementales (independientemente de cómo surgen) ha de estar relacionada con el incremento de su energía propia y masa. Ese incremento supone la ampliación de la multitud de posibles transformaciones internas de las micropartículas, y la ampliación de la esfera de las posibilidades constituye

[8] Véase el informe de Heisenberg con motivo del primer centenario del nacimiento de M. Planck *El descubrimiento de Planck y los problemas filosóficos fundamentales de la teoría atómica*. En la revista *Voprosi filosofii* ("Problemas de filosofía"), núm. 11, 1958.

la ley general del desarrollo que actúa en todos los casos de tránsito de lo inferior a lo superior.

Examinemos ahora de qué modo se efectúa el desarrollo de los microobjetos, empezando por las partículas elementales. La interacción de las micropartículas a través de los diversos campos las conduce a la asociación en sistemas más complejos: núcleos atómicos, átomos, moléculas y cuerpos macroscópicos. Esta asociación viene a ser el resultado natural y sujeto a leyes de la propia existencia de las partículas, y su realización depende exclusivamente de que se den condiciones propicias para ello. En efecto, existir, para cualquier cuerpo, significa hallarse en movimiento, en proceso de interacción con otros cuerpos. De un cuerpo que no interactuase con nadie ni manifestase en ninguna forma su existencia nada podría decirse en consecuencia. Carecería de toda organización estructural, ya que toda estructura representa un determinado tipo de conexiones internas de las cuales carece un cuerpo que no interactúa. Dicho cuerpo no tendría propiedades de ninguna clase, ya que toda propiedad viene a ser el resultado de los nexos internos y externos del cuerpo. Pero un cuerpo sin propiedades ni organización estructural, que no revela de ningún modo su existencia, no pasa de ser una abstracción vacía, a la cual nada corresponde en la realidad. Todo cuerpo con existencia real posee numerosas conexiones internas y externas. Existir significa interactuar, hallarse en movimiento, y por ello el movimiento es un medio de existencia de la materia.

Ahora bien, la interacción no es solamente el choque directo de los cuerpos, sino también su acción de fuerza recíproca a través de los diversos campos. Dicha acción se exterioriza siempre bien en forma de atracción recíproca de los cuerpos, bien de repulsión de los mismos. La existencia de esas fuerzas diametralmente opuestas constituye la condición indispensable para la unión de las micropartículas y los cuerpos macroscópicos en sistemas más complejos. De ese modo se hace evidente que la *tendencia al autodesarrollo*, a

la formación autoespontánea de cuerpos más complejos de otros más simples, no es algo exterior con relación a la materia, sino que *constituye su atributo interno, derivado íntimamente del propio hecho de su existencia.* Por consiguiente, no es necesario buscar fuentes exteriores, ajenas, para explicar el desarrollo de la materia; esas fuentes radican en ella misma, en el proceso real de interacción de los objetos materiales. La admisión consciente de este hecho diferencia radicalmente la concepción dialéctica del desarrollo de la concepción metafísica, para la cual la fuente del desarrollo radica en fuerzas exteriores con relación a la materia, reconociendo, así, la existencia de seres sobrenaturales.

En la asociación de partículas elementales en átomos y moléculas el papel decisivo corresponde a las fuerzas nucleares y electromagnéticas; pero cuando los cuerpos macroscópicos se asocian en sistemas complejos, este papel pertenece a las fuerzas gravitacionales. Dichas fuerzas no son equivalentes en cuanto a la magnitud correspondiente de su energía de unión. Las fuerzas eléctricas de atracción entre el protón y el electrón son, por ejemplo, 10^{41} veces mayores que las gravitacionales, y las nucleares, a su vez, superan en mucho a las fuerzas electromagnéticas. Debido a ello, dichas fuerzas desempeñan diverso papel cuando las partículas forman sistemas más complejos. Se requiere la máxima energía para asociar protones de carga igual en núcleos atómicos. Pero tan pronto como esa asociación se produce, las fuerzas nucleares dejan de tener un papel esencial en la ulterior complicación de la materia. Esto se debe a que las fuerzas nucleares tienen un radio de acción muy reducido, de 10^{-13} *cm*, y que las ulteriores formaciones, a base de núcleos de átomos y moléculas, ya no dependen de las fuerzas nucleares, sino, en lo fundamental, de las electromagnéticas. Estas fuerzas aseguran el vínculo entre los electrones y el núcleo en el átomo, entre los átomos y las moléculas, así como entre las propias moléculas en los cuerpos macroscópicos. Por lo que se refiere a las fuerzas gravitacionales, éstas empiezan a des-

empeñar un papel considerable, pero sólo en masas de cuerpos suficientemente grandes, sobre todo en la escala del cosmos.

Es diferente, asimismo, el carácter de las complicaciones de los nexos correspondientes a cada género de fuerzas. En los núcleos atómicos, los vínculos entre protones y neutrones, transmitidos por el campo de fuerzas nucleares, se complican hasta un cierto punto tan sólo, ya que existe el límite superior del sistema periódico de los elementos, y a partir de un cierto número masivo del núcleo el incremento posterior del número de nucleones en el núcleo se hace imposible desde el punto de vista energético. Pero las conexiones electromagnéticas de las partículas pueden complicarse infinitamente en la práctica. Las moléculas de combinaciones de altos polímeros y cuerpos albuminoideos pueden constar de decenas de miles de átomos, y todos esos átomos están unidos entre sí por fuerzas electromagnéticas. Además, también hay conexiones electromagnéticas entre las partículas que integran diversas moléculas y también diversos cuerpos, suficientemente alejados unos de otros. Es igualmente posible la ilimitada complicación de las conexiones gravitacionales entre los cuerpos en diversos sistemas materiales.

¿Cuáles son las condiciones físicas necesarias para que las micropartículas y los cuerpos macroscópicos formen sistemas de orden superior? Todo sistema puede surgir y existir en forma estable sólo en el caso de que la energía de enlace entre sus elementos integrantes sea mayor que la energía cinética total de movimiento de esos elementos, más la energía de las acciones exteriores. La observancia de esa condición es el criterio de estabilidad de todo sistema físico.

Sin embargo, las vías y las posibilidades concretas de formación de sistemas pueden ser distintas, pues dependen del carácter de las fuerzas en acción. Las fuerzas electromagnéticas y gravitacionales tienen, prácticamente, un radio de acción ilimitado y por ello la formación natural de sis-

temas de orden superior, a base de partículas y cuerpos macroscópicos, se produce siempre cuando se observa el criterio de estabilidad arriba indicado.

De un modo totalmente distinto suceden las cosas cuando se asocian los protones y neutrones en núcleos de átomo. Las fuerzas nucleares tienen un radio de acción muy restringido, de 10^{-13} *cm*, y los nucleones no pueden asociarse en núcleo si la distancia entre ellos es superior a la magnitud dada. En este caso, entre protones de igual carga actuarán fuerzas muy potentes de repulsión eléctrica, que tratarán de separarlos entre sí a la mayor distancia posible. Para que los protones puedan asociarse en núcleo, tendrán que superar las fuerzas eléctricas de repulsión y aproximarse unos de otros a una distancia de 10^{-13} *cm*. Esto significa que deben superar cierta barrera potencial muy alta.

La formación de núcleos atómicos constituye el proceso indispensable, principal y el de más difícil realización para la unión de las micropartículas en sistemas más complejos. Ulteriormente, la formación de átomos, moléculas y cuerpos complejos transcurre de manera mucho más sencilla, ya que en este caso actúan tan sólo fuerzas electromagnéticas y gravitacionales; para la formación de un sistema a base de la ación de dichas fuerzas, los elementos integrantes del sistema no han de superar ninguna barrera potencial. Lo importante es que la energía de enlace entre los elementos supere su energía cinética total de movimiento y la energía de los estímulos exteriores que tienden a la destrucción del sistema. Desde el punto de vista práctico, los núcleos atómicos se anexionan electrones con bastante facilidad, formando así los átomos. Cuando las temperaturas no son altas, los átomos se asocian fácilmente en moléculas, estas últimas en cuerpos macroscópicos, etc.

De este modo, el obstáculo principal que ha de superarse en el camino del desarrollo de la materia sobre la base de las partículas elementales estriba en la dificultad de crear condiciones físicas para la síntesis de los núcleos atómicos.

Cada protón debe poseer una energía de 10 a 15 millones de electrón-voltios para poder superar la barrera potencial y penetrar en la región donde actúan las fuerzas nucleares. Corresponde a esta energía una temperatura de medio muy elevada, de decenas de millones de grados. ¿Cuáles son, pues, concretamente, las condiciones físicas precisas para la síntesis de los diversos núcleos atómicos?

4. El problema de la formación de los elementos químicos.

La síntesis de los núcleos atómicos es un proceso de formación de unos elementos químicos a base de otros o, simplemente, de partículas elementales. En la región del universo que nos rodea se conocen dos procesos que pueden provocar la síntesis de los elementos. Primero, la interacción de los rayos cósmicos con los núcleos atómicos de diversas sustancias, dispersas en el cosmos, y segundo, las reacciones nucleares en las estrellas que provocan la emisión de energía por las mismas.

Los rayos cósmicos primarios se componen, en lo fundamental, de protones y núcleos atómicos ligeros, con una energía de 10^8 hasta 10^{18} electrón-voltios. Según las concepciones modernas, los rayos cósmicos surgen como resultado de las reacciones nucleares de las estrellas y se aceleran después en los campos electromagnéticos de estrellas y nebulosas. Como las partículas cósmicas llegan a la Tierra de modo uniforme desde todas las direcciones, cabe suponer que su densidad es igual, por término medio, en el espacio cósmico.

Los protones y las partículas alfa de alta energía son capaces de superar las fuerzas eléctricas de repulsión y establecer una interacción directa con otros protones o núcleos atómicos. En ese caso son posibles los siguientes procesos: 1) dispersión elástica por el protón (o núcleo) de la partícula incidente; 2) su absorción y formación de un núcleo

más complejo, y 3) desintegración parcial o total del núcleo por la partícula incidente. El segundo proceso nos ofrece, precisamente, la reacción que nos interesa de síntesis de elementos más complejos. Se ha observado en reiteradas ocasiones en los rayos cósmicos, así como en la dispersión por los núcleos atómicos de partículas de alta energía obtenidas artificalmente en los aceleradores. En la naturaleza es de esta manera, precisamente, como se origina una determinada parte de núcleos. Sin embargo, los experimentos y los cálculos teóricos demuestran que el proceso dado posee una probabilidad relativamente pequeña y que resultan mucho más probables las interacciones del tipo primero y tercero. Para que los núcleos atómicos absorban los protones es necesario que el protón incidente posea una determinada energía, llamada de resonancia, equivalente más o menos a 10 a 15 millones de electrón-voltios. Los protones de pequeña energía se dispersarán por las fuerzas de Coulomb; en caso de una energía más alta pueden provocar la desintegración parcial o total del núcleo. Por consiguiente, de todo el espectro de los rayos cósmicos sólo un pequeño grupo de partículas puede ser absorbido por los núcleos.

Sin embargo, incluso si las partículas del grupo dado interactuasen entre sí, no toda reacción, ni mucho menos, puede conducir a la formación estable de un núcleo más complejo. En la mayoría de los casos, los núcleos de nueva formación son radiactivos y se desintegran rápidamente, emitiendo neutrones, electrones y otros corpúsculos; después de ello, se transforman en núcleos menos complejos. Debemos señalar que de todos los núcleos atómicos los de hidrógeno y helio se caracterizan por su mínima capacidad de absorción de otras partículas y de formación de núcleos estables más complejos. Sin embargo, de todos los elementos son el hidrógeno y el helio quienes están más difundidos, ya que les corresponde más del 99 por 100 de la masa de todas las estrellas y nebulosas. Teniendo en cuenta todo esto, es preciso reconocer que los rayos cósmicos no pueden ser el

factor determinante en la formación de los elementos químicos. Lo más probable es que la interacción de los rayos cósmicos con los núcleos atómicos conduzca bien a la desintegración de estos últimos, bien a la dispersión de las partículas por los núcleos.

Para explicar el origen de los elementos químicos es necesario estudiar el segundo grupo de los procesos: las reacciones nucleares en las estrellas. Los datos astrofísicos actuales nos demuestran, sin lugar a dudas, que las reacciones nucleares en las estrellas están relacionadas con la síntesis de elementos más complejos, provenientes del hidrógeno. Esta síntesis se efectúa de diversos modos, de acuerdo con las condiciones físicas en las estrellas. Hoy día se conocen varias clases de estrellas, que se diferencian entre sí por su masa, temperaturas, características espectrales y estructura interna.

Todas las estrellas se dividen en estacionarias y no estacionarias. Incluimos en las estacionarias aquellas estrellas cuya evolución transcurre en formas relativamente tranquilas y con un campo gradual de los parámetros termodinámicos. Los procesos que se producen en sus profundidades son, en lo fundamental, de equilibrio. Nuestro Sol, por ejemplo, pertenece a ese tipo de estrellas.

Las estrellas no estacionarias se caracterizan, por el contrario, por sus procesos bruscamente desequilibrados, durante los cuales los parámetros termodinámicos fundamentales y las condiciones físicas se modifican repentinamente y a saltos. Figuran entre las no estacionarias todas las estrellas novas y supernovas que aumentan de pronto su luminosidad miles y miles de millones de veces.

Es posible que entre esos dos grupos de estrellas no haya una divisoria neta y que las estacionarias pasen al estado de las no estacionarias, y viceversa. Desde el ángulo del problema que estudiamos, lo que importa es subrayar que la síntesis de los elementos ha de producirse de distinto modo en esos dos grupos de estrellas. Examinaremos, primeramente,

la posibilidad de formación de elementos en los procesos de equilibrio que tienen lugar en las estrellas estacionarias.

Según las concepciones actuales, la fuente principal de la energía estelar son las reacciones termonucleares de transformación del hidrógeno en helio. Al asociarse los protones y neutrones en el núcleo del helio, una parte de la masa en reposo de los nucleones se transforma en masa de radiación y en masa suplementaria de productos de desintegración. Corresponde a esta masa una energía muy alta, que es la que emiten las estrellas en el curso de su evolución. Para que la reacción termonuclear sea posible, es preciso aproximar entre sí a un gran número de protones y neutrones hasta la esfera de acción de las fuerzas nucleares, a fin de que los nucleones establezcan una directa interacción nuclear entre sí y se produzca su fusión en núcleos más complejos. En la bomba de hidrógeno esta aproximación se consigue mediante la explosión de una bomba "detonadora" de uranio o plutonio. En las profundidades de las estrellas la aproximación de las partículas se debe a la acción de inmensas fuerzas de presión por parte de la periferia sobre las regiones centrales de las estrellas.

En ambos casos, debido a la interacción nuclear de los nucleones, se hace posible la síntesis de los núcleos de helio y la emisión de una gran energía. Pero si en la bomba de hidrógeno la reacción nuclear desemboca en una explosión y en la consiguiente dispersión de los productos de la misma, en las profundidades de las estrellas estacionarias, por el contrario, transcurre de un modo estable. La inmensa presión que ejercen las regiones periféricas sobre el centro de la estrella, debido a la acción de las fuerzas gravitacionales, impide la explosión y dispersión de los productos de la reacción. Por ello, todo el sistema se encuentra en un estado de equilibrio dinámico. Mas ese equilibrio es relativo y suele infringirse. En algunos casos empiezan a predominar las fuerzas de presión de los rayos dirigidas hacia fuera y entonces las regiones periféricas de la estrella expulsan enor-

mes masas de gas, que a una velocidad de mil y más kilómetros por segundo son capaces de superar la acción de las fuerzas gravitacionales de las estrellas y salir al espacio sideral.

En otros casos, empiezan a predominar las fuerzas de gravitación, y entonces se produce en la estrella cierta compresión, acompañada por la elevación de la temperatura interna y de un desarrollo más intenso de las reacciones nucleares. Gracias a ello aumentan las fuerzas de presión de los rayos y vuelve a establecerse el equilibrio dinámico entre la atracción y la repulsión.

Las reacciones termonucleares en las estrellas estacionarias pueden transcurrir de diversas maneras. En la teoría actual se admiten tres caminos fundamentales, correspondientes a tres fases distintas de la evolución de la estrella. En la primera fase, cuando la estrella acaba de formarse de una nube gaseosa y pulverulenta y reina en su centro una temperatura de unos 20.000.000 de grados, el hidrógeno se transforma en helio con la participación de elementos ligeros. Los protones se asocian con núcleos de litio, berilio, boro, y como resultado de todas esas reacciones surgen, en fin de cuentas, los núcleos de helio. Los metales ligeros se "queman" en esas reacciones, con la particularidad de que el tiempo de la "quema" equivale, por término medio, a varios centenares de años, es decir, muy poco si lo comparamos con la duración general de la estrella.

A medida que se gastan los metales ligeros empieza a predominar la llamada reacción protón-protónica, que se produce del siguiente modo: Durante la interacción de los protones se originan los neutrones, que se unen nuevamente con los protones y forman los núcleos He^3; la asociación de dos núcleos He^3 produce He^4 con la formación de dos neutrones sobrantes. Como la masa en reposo de He^4 es menor que la masa total de cuatro nucleones, en el curso de todos esos procesos cierta parte de sustancia se transforma en radiación y emite gran cantidad de energía, debido a lo cual

las regiones internas de la estrella se calientan hasta cincuenta millones de grados.

A medida que la estrella evoluciona, la transformación de hidrógeno en helio se produce de una tercera manera, es decir, con la participación del carbono. En el ciclo carbónico, que Bethe argumentó por primera vez, tiene lugar la asociación sucesiva de protones con núcleos de carbono C^{12} y C^{13}, debido a lo cual se originan los núcleos de ázoe. La asociación de estos últimos con los protones conduce a la formación del núcleo de oxígeno O^{15}, que se desintegra en núcleo de ázoe N^{15} y positrón. Luego N^{15} interactúa con el protón, y el núcleo que se origina se desintegra inmediatamente en C^{12} y He^4. Así, pues, el carbono cumple en ese ciclo una función de catalizador de la reacción, y el hidrógeno se va convirtiendo gradualmente en helio. Esquemáticamente, esta reacción puede representarse así:[4]

$$C^{12}+H^1 \rightarrow N^{13},\ N^{13} \rightarrow C^{13}+e^+,$$
$$C^{13}+H^1 \rightarrow N^{14},$$
$$N^{14}+H^1 \rightarrow O^{15},\ O^{15} \rightarrow N^{15}+e^+,$$
$$N^{15}+H^1 \rightarrow C^{12}+He^4.$$

Cada una de esas fases transcurre en períodos muy largos de tiempo, de miles, hasta decenas de millones de años, hecho que asegura el carácter gradual de la emisión de energía. En este proceso la cantidad general de carbono permanece sin variación —el carbono cumple una función de catalizador—; en cambio, el hidrógeno se va convirtiendo gradualmente en helio.

El ciclo carbónico asegura la cantidad de energía precisa para las estrellas de la secuencia principal, cuya luz equivale, más o menos, a la luz del Sol. Pero si la luz de la estrella es menor todavía, el ciclo carbónico no puede ser su principal fuente de emisión de energía; en ese caso la fuente es el ciclo protón-protónico. Como la luz y la temperatura de una estrella es función de su masa, vemos que el predominio

[4] *Recopilación de informes sobre los "Procesos nucleares en las estrellas"*. Editorial de Literatura Extranjera, 1957, pág. 54 (en ruso).

de uno u otro ciclo depende de la magnitud de la masa. En estrellas que tienen más masa que el Sol y poseen un núcleo convectivo amplio, la emisión de energía se produce, en lo fundamental, a través del ciclo carbónico; pero en estrellas menos masivas, donde el núcleo convectivo es insignificante o no existe en absoluto, la emisión de energía está determinada, principalmente, por las reacciones protón-protónicas. En el propio Sol y en estrellas similares a él tienen lugar los dos ciclos nombrados, aunque las últimas investigaciones demuestran que la parte principal de la energía solar se emite a costa de las reacciones protón-protónicas.[7]

Debido a las reacciones nucleares, de las profundidades de las estrellas se desprende gran cantidad de neutrones, que son capturados por núcleos atómicos, formando así elementos nuevos, a semejanza de como se forma plutonio del uranio-238 en los reactores nucleares. La existencia de la síntesis de los elementos originada por la captura de neutrones es confirmada por una serie de observaciones. El hecho de mayor interés en este sentido es el descubrimiento del tecnecio en los espectros de varias estrellas, incluido el Sol: el número atómico de este elemento es 43.[8] El tecnecio es un elemento inestable; su isótopo más duradero tiene un período de semidesintegración de noventa y cuatro mil años, período considerablemente menor que la edad de las estrellas. Por consiguiente, el elemento dado fue objeto de síntesis en el proceso evolutivo de la estrella.

Debemos observar, sin embargo, que elementos con un peso atómico superior al medio, y tanto más los pesados, ya no pueden formarse en condiciones de equilibrio en estrellas con una temperatura de 20 a 50 millones de grados. La captura de neutrones por núcleos estaría acompañada en este caso por el escape de partículas alfa, es decir, por la desintegración inversa de los núcleos. Las reacciones termonu-

[7] *Recopilación de informes sobre los "Procesos nucleares en las estrellas"*, pág. 61-70.

[8] Ibidem, pág. 362.

cleares tampoco pueden originarse a base de elementos más pesados que el hidrógeno, por ejemplo, el ázoe y el oxígeno. Para que la reacción termonuclear fuese posible a base de los elementos medios se necesitaría una temperatura del orden de 10^9-10^{10} grados, lo que es imposible en condiciones de equilibrio. Un sistema con esa temperatura sería inestable y se desintegraría muy rápidamente. Semejante temperatura puede originarse en condiciones especiales de falta de equilibrio, por ejemplo, en las profundidades de estrellas supernovas durante su explosión. En relación con esto, es lógico suponer que los elementos medios y pesados se forman, precisamente, durante esas explosiones. Esta hipótesis no tiene nada de ilógica.

Las estrellas supernovas estallan en la galaxia una vez en doscientos o trescientos años, y si contamos que el tiempo de existencia de esta última es de siete a diez mil millones de años, por lo menos, durante ese tiempo han debido encenderse no menos de 20 millones de estrellas supernovas, en el caso de que ese fenómeno tuviese lugar durante todo ese tiempo. Esta cantidad de explosiones puede ser suficiente para asegurar la concentración de elementos pesados y medios que se observa. En ese caso, la síntesis de los elementos puede efectuarse en un plazo muy reducido, antes y después de la explosión, cuando en el centro de la estrella supernova se origina una temperatura enorme y una densidad de materia que alcanza, probablemente, a $10^{12} g/cm^3$. Al mismo tiempo se libera una gran cantidad de neutrones que pasan a formar los elementos. Los elementos formados son expulsados al espacio tanto durante el proceso del encendido como en el período evolutivo posterior de esa estrella, que después de la explosión se califica de supernova. Por ello las estrellas de la "segunda generación", formadas de una materia difusa, se originan a base de la reserva de elementos ya existentes. Este hecho explica el que en las atmósferas de algunas estrellas de clase espectral tardía se observen líneas de elementos pesados, que no han

podido originarse en condiciones de equilibrio en el interior de la estrella.

Fuera de nuestro país predomina otra teoría de formación de elementos, enunciada en 1948 por Alpher, Bethe y Gamow. Según esa teoría, la formación de los elementos está relacionada con la llamada "expansión del universo".

Hace tiempo que se descubrió que las líneas espectrales de todas las nebulosas extragalácticas se desplazan hacia el rojo, con la particularidad de que la magnitud de ese desplazamiento es tanto mayor cuanto más lejos se halla la galaxia. Hoy día el desplazamiento hacia el rojo es considerado por la mayoría de los autores como un resultado del alejamiento recíproco de las galaxias. Se supone que la región observada del universo infinito pasa por una etapa de expansión, mientras que otras zonas limítrofes pasan por una fase de contracción. Si dividimos la distancia hasta las galaxias por la velocidad de su recíproco alejamiento, determinado por la magnitud del desplazamiento hacia el rojo, el comienzo de la expansión datará de varios millones de años. Ese tiempo tiene el mismo orden de magnitud que la edad de los planetas y el Sol. En relación con lo dicho, algunos científicos expusieron la hipótesis de que hace varios miles de millones de años tuvo lugar una gigantesca explosión que sentó el comienzo de la expansión del universo. Esta hipótesis tomó más tarde un cariz francamente religioso, presentándose como la "creación del mundo".

Alpher, Bethe y Gamow relacionan la formación de los elementos con el supuesto comienzo de la expansión, que para ellos equivale a la creación de todo el universo. Consideran como material primigenio cierta materia primaria constituida por neutrones y radiación. No explican cómo se ha originado, pero se supone que existió contados minutos, después de lo cual empezó a dilatarse intensamente en el espacio.[8] Durante el proceso de expansión surgieron las es-

[8] G. Gamow, *The Creation of the Universe*, Nueva York, 1952.

trellas y las galaxias, que se siguen alejando hasta la fecha a una velocidad que aumenta proporcionalmente con la distancia. Los elementos químicos se han formado al comienzo de la fase de la expansión, cuando los neutrones podían desintegrarse libremente, dando origen a una gran cantidad de protones. En el curso de la expansión tuvo lugar la sucesiva captura de los neutrones por los protones y la síntesis de los elementos, incluidos los pesados.

La idea de la creación del universo y la negación de su eternidad en el tiempo es profundamente reaccionaria y debe ser rechazada sin lugar a duda. Sin embargo, en la hipótesis que examinamos hay algunos elementos racionales. Si admitimos como posible la explosión inicial, no como acto de creación, sino como una fase de existencia de la metagalaxia, la idea de la síntesis de los elementos en la primera etapa de la expansión puede ser considerada como una hipótesis aceptable. Su certeza o falsedad no deberá establecerse *a priori*, sino a base de observaciones y una teoría cosmológica firmemente argumentada.

Hoy día esta hipótesis cuenta con argumentos en pro y en contra. Entre los argumentos que la apoyan figura el de la coincidencia de las edades del uranio, los meteoritos, la Tierra, el Sol, así como el del supuesto comienzo de la expansión. Esta hipótesis explica de un modo bastante satisfactorio la observada difusión de muchos elementos, exceptuando los pesados. Entre los argumentos contrarios a esta hipótesis —que son, por otra parte, decisivos—, figura, ante todo, el que no está demostrado el hecho de la explosión inicial al dilatarse la metagalaxia, siendo muy posible que las coincidencias de edad antes señaladas tengan una causa completamente distinta. Aunque la hipótesis enunciada por varios autores de que la expansión de la metagalaxia obedece al choque de la materia de nuestro mundo con la materia de un hipotético antimundo no puede ser refutada, no tiene, por ahora, ninguna confirmación fidedigna. Es posible, también, que el observado desplazamiento hacia el rojo

no esté provocado por el alejamiento recíproco de las galaxias, sino por ciertos cambios en las propiedades del espacio y el tiempo a medida que aumentan las dimensiones de los sistemas. En la actualidad estas hipótesis están siendo objeto de estudio, y cabe suponer que en un futuro próximo se conozcan nuevas propiedades del espacio y el tiempo en la escala de la metagalaxia, que arrojarán nueva luz sobre el problema del desplazamiento hacia el rojo.

Todos estos argumentos demuestran que la hipótesis de la "expansión del universo" no ofrece, por ahora, una base para solucionar adecuadamente el problema del origen de los elementos. Sin embargo, el método y los aparatos elaborados por ella pueden utilizarse para analizar las posibilidades de la síntesis de los elementos durante la explosión de las estrellas supernovas, ya que en las profundidades de esas estrellas se originan condiciones semejantes a las supuestas en el período inicial de la expansión, en el caso de que fuera provocada por una explosión. Al parecer, la hipótesis de la formación de elementos medios y pesados en las estrellas supernovas descansa sobre una base más real, ya que parte de un hecho observado —el de las explosiones— y tiene una argumentación teórica bastante segura. Así, pues, la formación de todos los elementos es posible con la unidad de los procesos de equilibrio y no equilibrio. La variación evolutiva gradual de las estrellas, relacionada con los procesos de equilibrio, conduce a la formación de elementos ligeros, mientras que los cambios bruscos, a saltos, correspondientes a procesos que no son de equilibrio, o sea del tipo de potentes explosiones nucleares, hacen posible la síntesis de elementos medios y pesados.

Debemos señalar que no todos los núcleos, ni mucho menos, que se sintetizan en las estrellas son estables. Hoy día se conocen más de 800 isótopos, que corresponden a los 102 elementos químicos conocidos, con la particularidad de que la mayoría aplastante de los isótopos son inestables y se desintegran. Esto demuestra que el desarrollo de la materia no

es un proceso progresivo y rectilíneo, sino que presupone un movimiento sinuoso, el retroceso a los puntos de partida, mientras que no se formen de las diversas estructuras originadas algunas suficientemente estables contra las acciones internas y externas. Por eso en el criterio de formas de materia altamente organizadas debe incluirse también el rasgo de la estabilidad. De todos los núcleos, los más estables son aquellos donde el número de protones *(P)* o el número de neutrones *(N)* ($N = A - P$, donde A es el peso atómico) es igual a una de las siguientes cifras: 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126.[19]

Esas cifras han sido llamadas "mágicas". Los núcleos con esas características son los más difundidos, relativamente, y este hecho permite suponer que se han formado cuando los neutrones poseían una elevada densidad, hecho que corresponde, precisamente, a las condiciones internas de las estrellas estacionarias y no estacionarias.

Para terminar, hemos de señalar que la formación de elementos químicos caracteriza las formas más simples de desarrollo en el cosmos. Esas formas son las predominantes en la existencia general de la materia. Pero en otras condiciones, en planetas que tengan atmósfera, agua y que reciban del astro central suficiente cantidad de calor, el desarrollo de la materia puede estar orientado a formas superiores y dar origen a la vida y a seres racionales. El desarrollo de la naturaleza es un proceso que se realiza en múltiples planos, y cada tendencia del mismo —que se desprende de un estado inicial de la materia, históricamente surgido— se diferencia cualitativamente de otras tendencias por su ritmo, leyes y resultados.

[19] J. Blatt y F. Weisskopf, *Física nuclear teórica*, Editorial de Literatura Extranjera, 1954, pág. 591 (en ruso).

5. Desarrollo de los cuerpos macroscópicos.

La interacción de átomos de diversos elementos conduce necesariamente a su agrupación en moléculas de diversa complejidad, y la unión de unas moléculas con otras condiciona la formación de los cuerpos macroscópicos. El desarrollo en la esfera del macrocosmos constituye un movimiento natural, sujeto a leyes, de simplicísimas combinaciones químicas hacia formas de materia cada vez más complejas y altamente organizadas. El resultado superior de ese movimiento es la aparición de la vida y de los seres racionales.

Las leyes que regulan el desarrollo de la materia en la Tierra se determinan casi totalmente por la influencia del Sol y la historia geológica de la Tierra. El Sol ha sido siempre la fuente principal de todos los procesos terráqueos, y casi todas las formas de energía observadas en la Tierra vienen a ser energía solar transformada. Una excepción la constituye únicamente la energía nuclear, que se libera al desintegrarse los elementos radiactivos, el uranio y el plutonio, en los reactores, así como durante la síntesis de los núcleos de helio, de deuterio y tritio.

Los datos geológicos demuestran que la radiación solar durante los dos últimos miles de millones de años ha sido, en general, constante e igual por su intensidad a la que se observa actualmente. Las oscilaciones en la radiación de energía no han pasado de unos tantos por ciento, a lo que ha correspondido, al parecer, el aumento o el descenso periódico de la temperatura en diversas épocas geológicas.

Las condiciones geológicas de la Tierra han cambiado con mucha más rapidez, y fueron las que determinaron, en primer lugar, las formas principales de desarrollo. Es imposible comprender la evolución geológica de la Tierra sin explicar, aunque sea en rasgos generales, las posibles condiciones de formación de la Tierra como planeta. En este aspecto existen hoy día diversas hipótesis contradictorias, pero

la mayoría de ellas se reduce a sostener que la Tierra y otros planetas se han formado como resultado de la condensación gravitacional de una nube de gas y polvo que existió en otros tiempos en las proximidades del Sol. Formaban parte de la composición de esa nube todos los elementos químicos conocidos, pero predominaban las combinaciones del tipo CO_2 H_2O, CH_4 CN, NH_3 y otras, que existían en forma de gases y pequeñas partículas.

Respecto al origen de esa nube hay en la actualidad diversas opiniones. O. Schmidt, en sus investigaciones, suponía, al principio, que el Sol había capturado dicha nube al atravesar una vez la oscura nebulosa en el plano de la galaxia. Sin embargo, el estudio detallado de esa hipótesis ha demostrado la poca probabilidad de esa captura que, además, contradice los numerosos datos que se poseen sobre la existencia de numerosos sistemas planetarios en la galaxia. Es mucho más natural relacionar la formación de los planetas con las leyes del desarrollo de las propias estrellas. Hoy día, la mayor parte de los astrónomos soviéticos considera que la nube de gas y polvo, que fue la base de la formación de los planetas, se originó, a su vez, como resultado de la formación y el desarrollo del Sol o del grupo de estrellas entre las cuales, en otros tiempos, estuvo incluido el Sol. Se supone que el Sol se originó al mismo tiempo que otras estrellas de una nebulosa de gas y polvo, con la particularidad de que no toda la materia de la nebulosa se invirtió en la formación de las estrellas. Una parte de esa sustancia se dispersó por el espacio bajo la presión de las radiaciones estelares, mientras que otra fue capturada por el campo gravitacional de cada estrella. Más tarde, las estrellas, que poseían grandes velocidades propias, obtenidas al originarse, abandonaron el círculo y de las nubes de gas y polvo capturadas se formaron los sistemas planetarios.

Schmidt y los partidarios de su hipótesis han demostrado que la evolución de la nube de gas y polvo tuvo que seguir el camino de la condensación y concentración en un plano

próximo al plano de la Elíptica.[11] Más tarde, en esa nube se formaron cuerpos, más o menos voluminosos, que pasaron a constituir los núcleos de la condensación gravitacional de la materia. La masa de los planetas en formación fue aumentando, poco a poco se fueron nivelando la energía, los momentos de la cantidad de movimiento y otras propiedades de las partículas incidentes.

La hipótesis elaborada a base de esas ideas permite explicar los movimientos casi circulares de los planetas, su rotación en una sola dirección, la unidad de los planos de las órbitas, los movimientos directos e inversos de los satélites, así como la división de los planetas en dos grupos: masivos y ligeros, tan sustancialmente diferentes entre sí por su composición química.

La división en dos grupos fue producto de la acción del Sol sobre la nube. Los rayos solares calentaban la nube en las inmediaciones directas del Sol, provocando la evaporación de partículas de hielo, metano, amoníaco, ácido carbónico. En regiones más alejadas, empezando por la órbita de Júpiter, la acción de los rayos solares se hacía sentir en grado mucho menor y la temperatura en ellas era muy baja. En esas condiciones, las combinaciones CH_4, H_2O, NH_3, CO_2 podían existir en estado sólido únicamente. Las partículas de esas combinaciones se iban depositando poco a poco en los núcleos de la condensación gravitacional, formando los embriones de los futuros planetas: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Con el aumento de la masa, aumentaba la capacidad de esos planetas de capturar, en grado cada vez mayor, gases ligeros.

En opinión de Schmidt, ello dio por resultado un proceso irreversible de empobrecimiento de la nube de polvo en asociaciones ligeras en las proximidades inmediatas del Sol; aquí, los planetas surgieron de combinaciones relativamente pesadas de sílice, oxígeno, hierro, níquel y otros elementos,

[11] O. Yu. Schmidt, *Cuatro lecciones sobre la teoría del origen de la Tierra*, Ed. Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 1957 (en ruso).

mientras que los planetas del segundo grupo, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón, que en su mayoría son poseedores de masas mucho mayores, están constituidos, en lo fundamental, por combinaciones de H_2O, CH_4, CN, CH_3 y CO_2. Esto es lo que explica, al parecer, la difusión relativamente pequeña de hidrógeno y helio en la Tierra.

La evolución posterior de la Tierra se debió tanto al influjo exterior del Sol como a las fuerzas internas del propio planeta. Gracias a la acción del campo gravitacional de la Tierra, los elementos pesados fueron concentrándose paulatinamente en el centro, formando un núcleo de hierro y níquel. Combinaciones más ligeras de silicio, magnesio, aluminio y otras sustancias constituyeron las capas exteriores. La diferenciación gravitacional de la materia fue acompañada por la emisión de una gran cantidad de calor, originado a costa de la energía del campo gravitacional de la Tierra. Sin embargo, la parte fundamental del calor interno se formó debido a la desintegración de los elementos radiactivos, uranio, torio, polonio, radio, etc., contenidos en la originaria nube de gas y polvo. Además, el aumento de la temperatura en las regiones centrales hasta cientos de miles de grados contribuyó en medida todavía mayor a la división gravitacional de la sustancia.

En el período más temprano de la existencia de la Tierra se formó la corteza terrestre, constituida, en lo fundamental, por basalto y granito. En las profundidades de la Tierra tuvieron lugar intensas reacciones químicas, en medio de grandes presiones y temperaturas que dieron por resultado la formación de diversas combinaciones de silicio, hierro y magnesio. Esas reacciones originaron la formación de ácido carbónico, ázoe y algunos otros gases que constituyeron la atmósfera primaria. Simultáneamente con la aparición de la corteza, surgió el primer océano que cubrió la mayor parte de la superficie del planeta. Con el correr del tiempo, la cantidad de agua en los océanos fue aumentando; el agua procedía de la desintegración de los hidratos en las entrañas

de la tierra y del afloramiento de una parte de las aguas del subsuelo a la superficie. La constante circulación del agua en el transcurso de miles de millones de años produjo en la corteza terrestre la sedimentación de una enorme masa de sales inorgánicas de sodio, magnesio, calcio, yodo y otras sustancias, así como su concentración en mares y océanos.

En las regiones de intensa actividad volcánica fue posible por el influjo de la luz solar y, posiblemente, también por el calor interno de la Tierra, la formación de simplicísimas combinaciones de hidrocarburos, cuya síntesis ulterior condujo a la aparición de la sustancia viva.

Hoy día existen diversas hipótesis sobre el origen de la vida, pero todas ellas distan mucho de presentar un cuadro realmente científico de ese proceso. Fuera de nuestro país, está muy difundida la hipótesis de la traslación cósmica de la vida, según la cual los primeros organismos vivos fueron trasladados desde otros mundos por la acción de la presión lumínica. Dicha hipótesis, sin embargo, es enérgicamente refutada, ya que la baja temperatura del espacio cósmico, así como las radiaciones cósmicas y ultravioleta, son completamente funestas para las indefensas esporas de los organismos vivos.

Hay también otra hipótesis según la cual la vida se debió a una casual asociación de átomos y moléculas en una compleja estructura albuminoidea, dotada de metabolismo y capacidad de reproducción, siendo la fuente de toda la vida ulterior. Desde un punto de vista formal, esta hipótesis no contradice las leyes de la naturaleza, ya que en el mundo objetivo siempre se producen procesos casuales. Sin embargo, la casualidad que examinamos, aplicada al surgimiento de la vida, tendría una mínima probabilidad de realización. En efecto, no sólo la molécula albuminoidea posee las propiedades de lo vivo; también las posee un organismo íntegro como el virus, por ejemplo, que está constituido por cientos de miles de millones de moléculas semejantes. En un sistema de ese género tendríamos miles de millones de átomos,

asociados de un modo claramente determinado. La probabilidad de una combinación casual de átomos en un sistema semejante es igual de reducida que la probabilidad de que una manada de monos puestos frente a unas máquinas de escribir durante un número ilimitado de años consiguiese teclear una complicada novela en verso.[12] Pero incluso si esa estructura albuminoidea hubiese surgido de un modo casual, tendría, de todas formas, muy pocas probabilidades de ser la base de la vida. Es mucho más probable suponer que se habría desintegrado, ya que el desarrollo de la vida exige un nivel bastante alto de organización de la materia, que no puede suponerse en el caso dado. Pero si ese nivel existe, la aparición de lo vivo deja de ser un proceso puramente casual para convertirse en el resultado lógico del desarrollo de la materia. En efecto, la creciente abundancia de datos referentes a las posibilidades de las formas vegetales de vida en Marte demuestran convincentemente que la formación de la sustancia viva no es una casualidad, sino un resultado necesario, sujeto a leyes, en el desarrollo de la naturaleza inorgánica.

Los trabajos del académico A. I. Oparin han contribuido considerablemente a la solución del problema examinado.[13] Según la hipótesis de este científico, la vida surgió de la síntesis de los hidrocarburos con la participación del agua, anhídrido carbónico, amoníaco y otras combinaciones formadas por vía abiógena. Esta síntesis tenía un carácter dirigido, y originó, en fin de cuentas, complejas combinaciones orgánicas, polinucleótidos, polipéptidos albuminoideos, etc.

[12] P. Laberenne, en el libro *El origen de los mundos* (trad. rusa, Moscú, 1957, pág. 229), cita al matemático francés Emile Borel, que hizo el cálculo de semejante probabilidad. Una manada de monos mecanógrafos, que se sucediese de generación en generación, podría teclear, a veces, en la máquina palabras y frases con un determinado sentido. Pasado un larguísimo período de tiempo, podrían, en principio, escribir una determinada obra literaria. Pero para hacerlo necesitarían escribir con la rapidez de mecanógrafos calificados una cantidad de años que se expresaría con un número de ciento cincuenta mil cifras. Para escribir esa cifra necesitaríamos ocho páginas de un libro de formato medio.

[13] A. I. Oparin, *La aparición de la vida en la Tierra*, ed. de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 1957 (en ruso).

La interacción de esas combinaciones determinó la formación de sistemas albuminoideos primarios, dotados de metabolismo y de la propiedad de reproducirse. Posteriormente, entró en vigor la ley de la selección natural, un factor esencial en la evolución biológica.

El examen del problema en cuestión plantea involuntariamente lo siguiente: ¿Puede originarse hoy día la vida a base tan sólo del desarrollo de la materia inorgánica? A esta pregunta hay que responder negativamente. Las formas vivientes que existen en la Tierra surgen bien de lo vivo, bien por mediación de lo vivo. En efecto, la vida puede originarse de sustancias inorgánicas mediante su complicación sucesiva a lo largo de millones de años. Pero en la actualidad todas las regiones de la Tierra donde puede originarse la vida ya están pobladas por diversos seres vivos. En 1 cm^3 de tierra están contenidas muchos miles de millones de bacterias que también existen en cada gota de agua fluvial o marina. Estos seres vivos elaboran constantemente toda la sustancia del medio circundante, y cualquier combinación orgánica que surja como resultado del desarrollo de la materia inorgánica será asimilada y elaborada por los organismos vivientes mucho antes de que pueda transformarse en sustancia viva. Así, pues, precisamente la propagación universal de la vida hace imposible hoy día su aparición a base tan sólo de la materia inorgánica. Lo vivo en la Tierra se origina únicamente de lo vivo, aunque para ello se aprovecha, claro está, las sustancias inorgánicas del medio circundante.

En algunos trabajos se expone la interesante hipótesis de que la vida, como forma especial de movimiento de la materia, puede originarse no sólo a base del carbono, sino asimismo del silicio, capaz también de producir cadenas ramificadas de combinaciones orgánicas.[14] Semejante hipótesis carece hoy día de toda confirmación, pero por extraña que

[14] Véase John H. Spencer. *La vida en otros mundos*. Trad. del inglés Gostejiadat, Moscú-Leningrado, 1946.

parezca no puede ser rechazada mientras no se demuestre teóricamente la imposibilidad de ese fenómeno, ya que el universo es infinito y las formas de movimiento de la materia, incluida la altamente organizada, pueden ser de lo más diverso, pues dependen de las condiciones físico-químicas. Tampoco pueden extenderse a todo el universo infinito las leyes específicas de desarrollo de la materia establecidas en la Tierra.

La aparición de la vida en la Tierra significó un salto cualitativo, un viraje radical en el desarrollo de la materia sobre la superficie de nuestro planeta. Durante el tiempo de existencia de la vida —dos mil millones de años—, en la litosfera, hidrosfera y atmósfera de la Tierra se produjeron cambios radicales debido a la acción de los organismos vivientes. En la era arcaica la corteza primaria de la Tierra estaba formada, en lo fundamental, por basalto, granito y otras masas cristálicas. Como resultado de la acción de los seres vivientes, de la energía solar, del agua y del viento, la capa superior de la corteza terrestre, de cinco a quince kilómetros de espesor, fue reducida a rocas sedimentarias. Se originaron diversos conglomerados, arenas, óxidos, fosfatos, carbonatos, rocas silícias, bituminosas, haloideas, sulfúricas, etc. Todo el suelo es producto de la actividad vital de los organismos. En la hidrosfera, debido a esa actividad, se originaron del agua combinaciones de sodio, magnesio, calcio, hierro y otros elementos que fueron absorbidos por otros organismos; una vez extinguidos éstos, se depositaron en el fondo de los mares y océanos en forma de limo, sedimentos de creta y diversos minerales.

Los organismos vivos han influido enormemente sobre la formación y el desarrollo de la atmósfera terrestre. Los organismos vegetales, al absorber el ácido carbónico que se desprendía de las profundidades terráqueas en el curso de los procesos tectónicos, lo descomponían durante el proceso de la fotosíntesis en carbono y oxígeno libre. Las reservas de carbono se han sedimentado en forma de considerables ya-

cimientos de carbón, petróleo, turba y pizarra esquistosa, mientras que la presencia de una gran cantidad de oxígeno en la atmósfera hizo posible el desarrollo de formas de vida altamente organizadas. El oxígeno, como elemento muy activo, era constantemente absorbido por los minerales, debido a lo cual iban aumentando sin cesar en la corteza terrestre la cantidad de óxidos y rocas de sedimentación. Sin embargo, las reservas de oxígeno en la atmósfera se renovaban constantemente a costa de la actividad vital de las plantas y, tal vez, de la desintegración de las moléculas del vapor de agua en oxígeno e hidrógeno, debido a la radiación ultravioleta del Sol. Este último proceso podría haber determinado la presencia de oxígeno en la atmósfera aun antes de que hubiese aparecido la vida en la Tierra.

Además del oxígeno, los organismos vivos segregaban ázoe. Es indudable que la mayor parte del ázoe tenía carácter abiógeno, ya que este gas se forma como resultado de una serie de reacciones químicas en las entrañas de la Tierra y se expulsa durante las erupciones volcánicas. Sin embargo, cierta parte del ázoe ha sido producto de la actividad de los organismos vivientes, los desnitrificantes. Vemos, pues, que la propagación de las formas biológicas de movimiento ejerció también un influjo transformador sobre todos los procesos de la naturaleza inorgánica.

La aparición de la sociedad humana significó un nuevo salto cualitativo en el desarrollo de la naturaleza. Aparecieron formas superiores de movimiento de la materia: las sociales. Pero la influencia del hombre sobre la naturaleza no ha sido siempre igual en el transcurso de toda su historia. Antes de que apareciese la civilización era, relativamente, insignificante y existía tan sólo en el marco de los factores biológicos comunes, ya que el hombre en aquel entonces apenas si se distinguía de la naturaleza viva. Solamente en los últimos cientos de años de progreso de la civilización la influencia del hombre sobre la naturaleza empezó a ser muy notable. Las grandes instalaciones de irrigación en las zonas

meridionales, la tala de extensas zonas boscosas, la creación de grandes depósitos de agua influyeron considerablemente en la modificación del clima y en la acumulación de la humedad en las regiones correspondientes. Hoy día, gracias al impetuoso desarrollo de la industria, ha aumentado de modo muy particular la influencia del hombre sobre la naturaleza. Esto se manifiesta en la extracción cada vez mayor de carbón, petróleo, gas, diversos minerales, y en la variación del clima de enteras regiones geográficas. El desarrollo de la energética nuclear, y, sobre todo, el descubrimiento de los medios para la utilización industrial de las reacciones termonucleares, permitirá transformar radicalmente toda la fisonomía de nuestro planeta.

Así, pues, el desarrollo de la materia inorgánica en la Tierra no puede comprenderse si se examina al margen de los procesos en la biosfera y en la sociedad. Las formas biológicas y sociales de movimiento, que son el producto superior del desarrollo de la naturaleza inorgánica, empiezan, a su vez, a influir sobre ella de un modo sustancial y, en ocasiones, decisivo.

6. Desarrollo de los objetos cósmicos.

El proceso de complicación de la materia, empezando por las micropartículas y terminando por los seres vivos altamente organizados, no es más que una de las formas posibles de desarrollo de la materia en el cosmos. Pero en otras condiciones físicas, diferentes de las terráqueas, el desarrollo de la materia puede efectuarse en formas distintas. La ley general, es decir, la complicación de las conexiones y clases de movimiento, rige también en este caso, pero conduce a resultados cualitativamente distintos. Si admitimos que el Sol y los planetas, así como algunas otras estrellas, se formaron de una nebulosa inicial de gas y polvo, veremos, al observar la evolución de la materia de dicha nebulosa, que el

proceso general de desarrollo, siendo único al principio, se ramifica seguidamente en multitud de direcciones, cada una de las cuales conduce a resultados diferentes. Una de esas direcciones representa el desarrollo en la Tierra; otra, en planetas del tipo de Júpiter y Saturno, poco aptas para la vida; la tercera, en el Sol, etc. Para comprender, en general, los procesos cósmicos se han de estudiar, principalmente, las formas de desarrollo de las estrellas y los sistemas estelares, donde está concentrada casi toda la materia de la región del universo que nos rodea.

En la actualidad está casi admitida por todos la teoría de que las estrellas se originan de la materia difusa concentrada en las nebulosas de gas y polvo. La materia de dichas nebulosas está constituida, en lo fundamental, por hidrógeno y helio con una pequeña mezcla de otros elementos y combinaciones simplísimas del tipo CH, NH y H_2O. La densidad media de la materia difusa en la galaxia es de $2 \cdot 10^{-23}$ g/cm^3, es decir, de varios átomos por centímetro cúbico de espacio. Sin embargo, las dimensiones de las nebulosas difusas son tan grandes, que su masa viene a ser, más o menos, igual a la masa de todas las estrellas de la galaxia. Este hecho tiene gran importancia, pues demuestra la constante renovación de la materia de las estrellas y nebulosas. En su conjunto, las nebulosas difusas representan una forma inferior de organización de la materia con respecto a las estrellas. Están constituidas, en lo fundamental, por elementos muy simples; las pequeñas cantidades de elementos medios y pesados que se encuentran en ellas se deben exclusivamente a las reacciones nucleares de las estrellas. En las nebulosas difusas la materia se encuentra en el estado menos activo. La energía propia de los objetos materiales, correspondiente a su masa en reposo, se manifiesta, principalmente, en forma pasiva, encadenada. Debido a la baja temperatura de la nebulosa, las partículas poseen velocidades pequeñas y su movimiento tiene un carácter totalmente caótico.

En las estrellas, por el contrario, la energía propia de

las partículas se manifiesta en forma activa, a lo cual corresponde la transformación de una parte de sustancia en radiación, así como el aumento de la energía cinética de las partículas. Gracias a esta energía, el desarrollo de la materia en los planetas alcanza formas más elevadas y se origina la vida. A su vez, el movimiento de la materia en las estrellas, en comparación con las nebulosas, está mucho más regulado y tiende a la síntesis de los elementos más complejos. Todos estos factores permiten llegar a la conclusión de que el tránsito de las nebulosas difusas a estrellas representa una rama ascendente en el desarrollo de la materia y determina los caracteres más importantes del proceso del desarrollo.

Esquemáticamente, y a base de los datos actuales, podemos representar del siguiente modo la aparición de las estrellas. Supongamos que existe cierta nube difusa de grandes dimensiones, con una masa equivalente a 20.000 masas solares. Los cálculos demuestran que si la densidad del gas equivale de 20 a 30 átomos por 1 cm^3, una nube formada por ese gas será estable ante la acción de fuerzas exteriores y empezará a comprimirse bajo la acción de las fuerzas gravitacionales. Si la densidad aumenta hasta 10^{-20} g/cm^3, empezarán a formarse en la nube difusa cuerpos del tamaño de los asteroides, que pasarán a ser los centros de la condensación gravitacional de la materia e irán aumentando poco a poco de dimensiones. Debido al aumento de esos cuerpos, la condensación gravitacional se realizará con rapidez cada vez mayor, trayendo por resultado el aumento de la temperatura interna del sistema. El incremento de la temperatura y de la presión constituyen la condición indispensable para el desarrollo de las reacciones termonucleares. La máxima presión que resisten los átomos sin destruirse es de 10^7 kg/cm^2, aproximadamente. Con una presión mayor, las capas electrónicas quedan "aplastadas". El aumento posterior de la presión y de la energía cinética de las partículas hacen posible las frecuentes aproximaciones de los núcleos atómicos. Gracias a ello, los protones y neutrones establecen una di-

recta interacción recíproca y comienza la reacción termonuclear. La gran cantidad de calor que se desprende en este caso convierte el cuerpo, relativamente frío, en una estrella de intensa radiación. La masa crítica indispensable para el comienzo de las reacciones termonucleares es, aproximadamente, de 0,02 a 0,05 de la masa del Sol. Durante ese proceso, la energía de la contracción gravitacional se convierte en calor y, más tarde, condiciona el desarrollo de las reacciones termonucleares. De este modo vuelve a ser evidente la indisoluble unidad entre los campos gravitacional, electromagnético y nuclear, así como la posibilidad de la recíproca transformación de energía de esos campos.

Las estrellas que surgen pueden poseer las más diversas masas, pero su valor oscilará entre los límites 1/50 a 200 masas solares. Un cuerpo de masa menor no se convertirá en estrella, ya que no se producirán en él reacciones nucleares, y en un cuerpo con más de 200 masas solares las reacciones termonucleares serán tan intensas, que las fuerzas gravitacionales no podrán mantener en equilibrio la sustancia estelar dada y ésta se desintegrará en diversas formaciones de masa menor. Es posible que la aparición de grupos estelares esté relacionada con ese aumento de la masa "crítica". En una "protoestrella" inicial, con una masa de varios miles o cientos de masas solares, se origina una presión de radiaciones de las regiones internas tan poderosa y aumenta en tal grado la energía cinética de las partículas, que las capas exteriores de la sustancia parecen ingrávidas, debido a lo cual la "protoestrella" inicial se descompone en toda una serie de cuerpos de masa menor que más tarde se convierten en estrellas. En la formación de estrellas se invierte una parte relativamente pequeña de la sustancia de la nebulosa inicial; el resto se dispersa por la presión de las radiaciones, para volver a entrar en un nuevo ciclo de desarrollo en otro lugar y en otro tiempo.

Todo el proceso de formación de la estrella, desde el momento de la aparición de una nebulosa densa, transcurre

en un lapso de tiempo relativamente corto: un millón de años. Sin embargo, todavía no se ha conseguido observar directamente ese proceso, y no tanto por su duración, si se le compara con la vida humana, sino por el hecho de que no se puede ver una estrella antes de haberse formado, y cuando se hace visible, el proceso de su formación ya ha terminado. V. A. Ambartsumián ha descubierto grupos de estrellas que, según supone, divergen a partir de un centro común; su velocidad indica que esa divergencia empezó hace varios millones de años. Ambartsumián dio el nombre de asociaciones a esos grupos. Las estrellas que lo integran tienen una luz blanco-azulada y una temperatura alta.

Hoy día está muy difundida la opinión de que las estrellas se forman de glóbulos, es decir, de densas masas esféricas de materia difusa, que se distinguen nitidamente sobre el fondo de algunas nebulosas claras. De este modo, datos de diversa índole demuestran convincentemente que continúa el proceso de formación de estrellas en la galaxia hasta hoy día. Es indudable que esto se refiere también a otras galaxias.

La evolución de las estrellas, una vez formadas, va acompañada por la radiación de energía, absorbida por diversas partículas y campos, y de nubes enteras de gases expelidos por la estrella. Por todas estas razones disminuyen la masa y la luz de la estrella y se modifica su composición química, así como sus características espectrales. Se considera que la mayoría de las estrellas evolucionan a lo largo de la llamada secuencia principal; su color pasa de azul claro a blanco y luego al amarillo y al rojo. De modo correspondiente desciende la temperatura de su superficie, pasando de 25.000 grados a 3.000 y menos. Sin embargo, no todas las estrellas pertenecen a la secuencia principal. Existe un grupo de estrellas gigantes blancas y azules y estrellas enanas con una gran densidad de sustancia. Su evolución no se ha estudiado aún con detalle, pero se supone que las estrellas gigantes blancas y azules entran, al enfriarse, en la secuencia prin-

cipal. Es posible, también, que las estrellas enanas blancas y rojas constituyan la fase evolutiva final de las estrellas pertenecientes a la secuencia principal que, habiendo agotado sus reservas de hidrógeno, se han contraído, después de una serie de explosiones, hasta alcanzar un estado superdenso de materia.

¿Cuál es el estado de las estrellas en la fase final de su desarrollo? ¿Existen hoy día estrellas apagadas? Si es cierto que la mayoría de las estrellas terminan su evolución en forma de enanas blancas, pueden existir en ese estado durante mucho tiempo todavía, ya que su gasto de energía es, relativamente, pequeño. Con el tiempo se enfriarán, pero esto se producirá, únicamente, cuando el valor de su masa sea inferior al valor crítico, que es cuando empiezan las reacciones termonucleares. Por consiguiente, en la naturaleza no pueden existir estrellas apagadas con una masa suficientemente grande. Si los cuerpos apagados existen, su masa será más semejante a la de los planetas que a la de las estrellas.

El desarrollo de las estrellas no se efectúa tan sólo como un proceso puramente evolutivo, sino que incluye con frecuencia rápidos cambios de estado, en forma de saltos. En algunas estrellas estos cambios en forma de saltos se producen regularmente, durante todo el ciclo observado de desarrollo. Figuran entre ese tipo de estrellas las cefeidas, por ejemplo; el período de oscilación de su brillo equivale, por término medio, a varios días.

Al mismo tiempo existe una numerosa clase de estrellas cuyos cambios en forma de saltos se producen durante un período mucho mayor que el de las cefeidas. Nos referimos, en primer lugar, a las estrellas novas, que tienen un brillo constante la mayor parte del tiempo, pero que a veces se encienden repentinamente y su luminosidad alcanza un grado máximo durante algunos días, después de lo cual se debilita y la estrella vuelve a su estado anterior.

A veces, las explosiones de las estrellas son grandiosas

por su magnitud y provocan radicales transformaciones en su estructura. Así son las explosiones de las estrellas supernovas, durante las cuales el brillo de las mismas aumenta miles de millones de veces, pudiendo ser comparado con la luminosidad de todas las estrellas de la galaxia. Como resultado de la explosión se expele al espacio una parte considerable de materia estelar y la propia estrella pasa a un estado cualitativamente nuevo y al cabo de varios meses se debilita.

Las estrellas supernovas estallan en cada galaxia una vez, por término medio, en doscientos a trescientos años; sin embargo, hasta la fecha no se ha conseguido fotografiar ni una sola de ellas antes de su explosión, ni fijar su espectro. Por ello no existe todavía una teoría bien fundada sobre esta cuestión. Es posible que la explosión se produzca debido a las explosiones termonucleares en las profundidades de la estrella, ya que en ninguna otra clase de procesos, a excepción de las momentáneas reacciones nucleares, puede liberarse de golpe una cantidad tan enorme de energía.

Veamos ahora cómo están relacionados con el desarrollo general de la materia los cambios señalados en las estrellas y si existe aquí la complicación de las formas de materia y movimiento. Es indudable que esa complicación tiene lugar y se observa en dos aspectos: en relación con la composición química y las conexiones externas de unas estrellas con otras. Más arriba hemos hablado ya de las variaciones de la composición química al tratar el problema de la formación de elementos, por lo cual nos dedicaremos ahora a examinar la complicación de las conexiones externas de las estrellas.

Toda estrella forma parte de un sistema todavía mayor, con la particularidad de que el conjunto de esos sistemas forma la galaxia, el conjunto de galaxias, la metagalaxia, etc. La evolución de los estrellas está íntimamente ligada a la evolución de los sistemas de que forman parte. Durante el proceso de desarrollo de la estrella se produce la evolución del cúmulo galáctico de estrellas; el desarrollo de la galaxia,

además, está relacionado con el cambio de su forma, estructura interna y composición química.

Hoy día, con ayuda de instrumentos muy perfectos, se pueden fotografiar más de mil millones de galaxias situadas fuera de nuestro sistema estelar. Todas las galaxias se subdividen en tres clases fundamentales: irregulares, espirales y elípticas. Las irregulares están constituidas por nubes de polvo y gas, en las cuales se encuentran los cúmulos estelares. Carecen de un núcleo claramente definido. Las galaxias espirales tienen forma de disco, en el que se distingue fácilmente el núcleo estelar, de mayor o menor magnitud. Del disco parten "ramas" estelares de forma espiral, cuya existencia demuestra la rotación de todo el sistema. Las galaxias elípticas son de forma esférica y su densidad estelar desciende gradualmente desde el centro a la periferia.

Hay razones fundamentales para considerar que las galaxias, en su evolución, pasan de las irregulares a las espirales y de éstas a las elípticas. Las galaxias irregulares están formadas por masas considerables de materia gaseosa y de estrellas jóvenes que irradian gran cantidad de energía. Estas estrellas existen en nuestra galaxia en subsistemas planos que constituyen las espirales de la galaxia, formados casi por entero de hidrógeno y helio, a diferencia de las estrellas viejas que integran los subsistemas esféricos, que forman el núcleo de la galaxia, y contienen elementos pesados y medios, aunque en cantidad relativamente pequeña.

En las galaxias irregulares no se han descubierto subsistemas esféricos de estrellas viejas; están constituidas por entero de estrellas de subsistemas planos y de nubes de materia difusa.

A diferencia de ello, en las galaxias espirales hay estrellas de ambos grupos. Encontramos subsistemas esféricos claramente manifiestos que constituyen el núcleo, y subsistemas planos, que forman las ramas de la galaxia. En las elípticas predominan las estrellas de subsistemas esféricos, no hay ramas espirales y, en consonancia, se encuentran muy raras

veces estrellas de subsistemas planos. Las galaxias elípticas pueden considerarse como sistemas que han gastado ya la masa fundamental de materia difusa para la formación de estrellas y se hallan en la fase terminal de su evolución. Eso no significa, empero, que no puedan ya formar estrellas. En el curso de la evolución estelar se desprende constantemente de las estrellas gran cantidad de materia difusa, que se une a la sustancia ya existente en el espacio, y que al concentrarse con el tiempo en grandes masas origina nuevos grupos de estrellas. Sin embargo, en las galaxias elípticas esos procesos no se producen, al parecer, con la misma intensidad que en las espirales e irregulares.

Así, pues, cabe imaginar que el desarrollo de las galaxias comienza por una enorme protonube de gas y polvo que, a medida que se contrae, empieza a girar con creciente velocidad. Durante la contracción se forman estrellas de diversas masas y brillo. Poco a poco en la galaxia irregular se origina un núcleo y ramas estelares en forma espiral que tienen una franja central de sustancia difusa oscura. Al principio, el núcleo de la galaxia es relativamente pequeño por su masa, pero con el desarrollo del sistema va aumentando de modo que la galaxia espiral se convierte, gradualmente, en elíptica. En esta última, la materia difusa oscura aparece en cantidad relativamente pequeña, pues se ha invertido en la formación de estrellas.

En el curso de evolución de las galaxias se van complicando los vínculos entre las estrellas. Esta complicación se manifiesta, primeramente, en que se forman numerosas estrellas nuevas de sustancia difusa y, segundo, en que el movimiento de las estrellas se hace más regulado y se subordina a las leyes generales de rotación y desarrollo de la galaxia. Hoy día no se conocen todavía los detalles de ese desarrollo, y el esquema de desarrollo arriba expuesto requiere una argumentación teórica. Es indudable, sin embargo, que la evolución de las estrellas y galaxias constituye un proceso mutuamente relacionado.

Durante el desarrollo de las estrellas, una parte considerable de su materia y radiación son expulsadas al interior de las galaxias, donde, con el tiempo, se utilizan para un nuevo proceso de formación de estrellas. Pero una cierta parte de materia es expelida por las estrellas al espacio metagaláctico exterior y, por consiguiente, se pierde totalmente para la galaxia dada. ¿Qué destino ulterior tiene esa materia? Es indudable que no se pierde vanamente, sino que se reúne, con el tiempo, en masas muy grandes, a base de las cuales se forman nuevas galaxias. Esta formación sigue produciéndose hoy día en el espacio circundante. Corrobora esa hipótesis el hecho de que muchas de las galaxias observadas poseen las más diversas edades. Por ejemplo, las galaxias irregulares vecinas a la nuestra, conocidas por la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes, se consideran de formación posterior a la de nuestro sistema.

La concentración de la materia metagaláctica y la formación de galaxias transcurre durante un período de tiempo mayor que la aparición de estrellas a costa de la sustancia difusa. Esto es completamente natural, ya que el ritmo del desarrollo se aminora a medida que crece el orden de los sistemas.

¿Continúa posteriormente ese proceso de desarrollo al pasar a escalas cada vez mayores? No podemos dudarlo. Sin embargo, hoy día no podemos decir nada firme sobre el desarrollo de la propia metagalaxia, ya que desconocemos su estructura por ahora y todos los períodos de tiempo que pueden medirse son mucho menores del período en que se efectúan cambios visibles en ese grandioso sistema.

Así, pues, haciendo el resumen de lo dicho, debemos subrayar que el desarrollo en la naturaleza no constituye un proceso lineal, pues se entrecruzan en él múltiples tendencias diversas. Cada una de ellas tiende a disgregarse en otras direcciones, supeditadas a sus propias leyes. Toda fase posterior viene a ser el resultado de las fases antecedentes, pero no es su continuación directa en cuanto a la uniformidad del

desarrollo, sino que se diferencia de ellas por su ritmo y contenido interno.

Cuando en una región extensa del espacio existen diversos sistemas, el nivel de desarrollo de la materia puede no coincidir en esos sistemas. Aquello que en un sistema representa lo ya alcanzado realmente, puede ser sólo una perspectiva lejana para otro.

¿Cuáles son, pues, las leyes dialécticas generales que rigen el desarrollo de todos los fenómenos en la naturaleza? Las analizaremos con detalle en los capítulos siguientes; ahora nos limitamos a señalar una ley importante, cuya esencia está relacionada con lo expuesto en el capítulo presente. Esta ley atañe a la correlación cualitativa y cuantitativa de las diversas formas de la materia y movimiento en el desarrollo.

Si disponemos las formas de materia conocidas hasta ahora de modo que formen una escala genética, empezando por las más simples y acabando por las más complejas, veremos sin dificultad que a *medida que se desarrolla y complica la estructura de los objetos materiales, aumenta la diversidad cualitativa de los fenómenos. Sin embargo, la difusión relativa de las formas complejas es tanto menor cuanto más elevado es el grado de su complejidad.* De todos los elementos que componen las estrellas y las nebulosas, un 99 por 100 corresponde al hidrógeno y al helio. Unicamente una pequeña parte de la masa corresponde a las moléculas complejas y a la sustancia viva. Según datos de V. I. Vernadski,[18] la masa de la sustancia viva terrestre constituye 10^{24} — 10^{25} *ton.*, es decir, un 10^{-7}, aproximadamente, de la masa de toda la Tierra (la masa de la Tierra se calcula en $6 \cdot 10^{21}$ *ton.*); deben incluirse, además, las plantas y el plancton de los océanos.

En la escala de la galaxia la relación entre la masa de la sustancia viva y la masa de todos los cuerpos será todavía

[18] V. I. Vernadski, *Lecciones de geoquímica*, 1934, pág. 172 (en ruso).

menor. A. I. Oparin y V. G. Fesenkov consideran que entre un millón de estrellas analizadas cabe descubrir un solo planeta donde sea posible la vida.[16] En toda la galaxia, constituida por ciento veinte mil millones de estrellas, habrá, por lo menos, ciento veinte mil planetas de ese tipo. Si suponemos que sus masas no se diferencian gran cosa, por término medio, de la masa de la Tierra y que la cantidad de sustancia viva en ellos sea, aproximadamente, la misma, obtendremos en toda la galaxia una masa de sustancia viva no inferior a $7 \cdot 10^{18}$ *ton*. Con relación a la masa de toda la galaxia, igual a $5 \cdot 10^{28}$ *ton*., esa magnitud constituye, más o menos, un 10^{-10}. Claro está que nuestras suposiciones respecto a que la cantidad de sustancia viva en otros mundos es igual a la de nuestra Tierra no pasa de ser puramente convencional (ya que hasta la propia vida puede existir allí en formas distintas); sin embargo, el cálculo aproximado que hemos aducido demuestra, indudablemente, que a medida que aumenta el orden de los sistemas, el contenido, en tantos por ciento, de la masa de sustancia viva disminuye incontenible mente.

De este modo, el estado de mayor difusión de la materia en el universo es el de sus formas más simples, mientras que las estructuras altamente organizadas constituyen un fenómeno relativamente raro. *El contenido relativo de las formas complejas de la materia y el movimiento en la naturaleza es tanto menor cuanto más elevado es el grado de su complejidad*. A medida que aumente el grado de complejidad de la sustancia y el orden de los sistemas cósmicos, la curva de la difusión tenderá asintóticamente a cero. Esto significa que en la existencia general de la materia la probabilidad de formación de estructuras algo complejas es tanto menor cuanto más elevado sea el grado de su complejidad y perfección. Esto, naturalmente, no debe comprenderse en el sentido de que la vida en el universo no es

[16] A. I. Oparin y V. G. Fesenkov, *La vida en el universo*, ed. Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 1956, pág. 222 (en ruso).

más que un producto puramente casual. La vida, como una de las formas superiores de movimiento de la materia, es una consecuencia regular de su desarrollo y siempre aparece donde existen condiciones propicias para ello. Más aún: como el universo es infinito, cabe suponer que existen en él multitud de mundos habitados y, por consiguiente, la masa general de la sustancia viva ha de ser infinitamente grande. Mas esa infinitud tiene un orden muy inferior a la infinitud de toda la masa de la materia en el universo.

Veamos ahora cómo se manifiestan en la naturaleza inorgánica las leyes dialécticas generales de desarrollo.

CAPITULO II

INTERACCION DE LOS CONTRARIOS EN EL DESARROLLO

1. Unidad de contrarios en los fenómenos de la naturaleza

Además de leyes específicas concretas a las que está supeditado el desarrollo, empezando por los núcleos atómicos y terminando por los gigantescos sistemas cósmicos, existen en la naturaleza leyes dialécticas generales de desarrollo, características de todos los sistemas y estados de la materia.

Una de esas leyes dialécticas generales es la ley de la unidad y de la lucha de los contrarios. Esta ley afirma que *en cada fenómeno hay aspectos y tendencias opuestas, indisolublemente ligados entre sí. La lucha o la interacción de esos contrarios constituye el contenido interno del proceso del desarrollo, del tránsito del viejo estado cualitativo a otro nuevo.* Así, pues, para comprender la verdadera fuente del desarrollo de los fenómenos es preciso poner al descubierto sus aspectos contradictorios y revelar el carácter de sus recíprocas relaciones. Lenin escribía: "La condición que permite conocer todos los procesos del mundo en su *automovimiento*, en su desarrollo espontáneo, en su vida viva, es el conocimiento de ellos como unidad de los contrarios..."[1]

Al analizar el contenido de esta ley tropezamos, ante todo, con los conceptos de diferencia, oposición y contradicción, que deben ser explicados obligatoriamente.

[1] V. Lenin. *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, t. 38, pág. 358.

El concepto de *diferencia* expresa la falta de identidad entre los objetos y fenómenos en relación con alguno de sus rasgos o propiedades, por insignificante que sea. La diferencia y diversidad de los fenómenos es la peculiaridad más general de todo lo existente. En la sociedad no existen dos seres absolutamente iguales; en un bosque resulta imposible encontrar dos hojas iguales en todo, y en el universo no hay dos mundos absolutamente idénticos. Esto se debe a que la materia es inagotable en profundidad y es infinito el número de posibles combinaciones de sus elementos. En cada caso concreto nos enfrentamos con diversas combinaciones, que dependen de las conexiones específicas internas y externas de los cuerpos. Gracias a ello no puede haber entre ellos una identidad completa.

Es cierto que en la mecánica cuántica se expone la tesis de que las partículas elementales de un género son idénticas. Mas esa tesis no puede considerarse como absoluta. En la mecánica cuántica se entiende por identidad de partículas el hecho de que si en un átomo o en otro microsistema se sustituye uno de los corpúsculos, un electrón, por ejemplo, por otro tomado de fuera, este último se comportará exactamente igual que el primero y no podrá observarse ninguna diferencia entre ellos. Se supone, en este caso, que todas las propiedades de las partículas están determinadas exclusivamente por el carácter de los vínculos exteriores y que la historia anterior de la partícula no influye para nada en su estructura; es decir, la partícula no "recuerda" en absoluto los sucesos anteriores.

Estrictamente hablando, semejante admisión tiene un carácter apriorístico, ya que las propiedades que definen la estructura interna de las partículas elementales no se manifiestan, por ahora, directamente en la experiencia. Y el hecho de que las partículas que se sustituyen aparezcan como idénticas en cuanto a las propiedades observables no significa de ninguna manera que el principio de identidad deba aplicarse a la profunda estructura de las mismas.

Como toda micropartícula es inagotable, la multitud de diversas combinaciones de los elementos materiales que la componen es infinita; esto, por sí mismo, excluye por principio la plena identidad de todas las combinaciones de los elementos en dos partículas. Si esa identidad existiese, numerosas combinaciones no serían infinitas, es decir, entraríamos en contradicción con el principio de que el carácter de los microobjetos es inagotable.

Y si nos referimos a partículas que no se encuentran en las mismas condiciones dentro de un sistema, resulta del todo evidente la falta de identidad, entre ellas. Por ejemplo, los electrones que se encuentran en átomos de diverso nivel energético poseen una masa en reposo algo distinta, ya que se caracterizan por su distinta energía de enlace con el núcleo. Son también distintas las propiedades de los nucleones en los diversos núcleos atómicos, ya que en este caso es diferente la energía de enlace.

Una de las formas en que se exteriorizan las diferencias es la oposición. La *oposición* representa una forma de diferencia en la cual los fenómenos se excluyen o niegan recíprocamente en algunos de sus rasgos, propiedades o tendencias de desarrollo. Los fenómenos opuestos se excluyen, habitualmente, uno al otro, no en todas sus propiedades, sino en algunas, mientras que en otras pueden tener comunidad, gracias a lo cual interactúan unos con otros y se encuentran en una determinada unidad.

La existencia de oposiciones en la naturaleza constituye la base objetiva de las contradicciones. La *contradicción* viene a ser la interacción o la relación esencial entre las oposiciones en el marco de un fenómeno íntegro único. La contradicción no se produce en todos los casos de existencia de las oposiciones, sino tan sólo cuando existe su unidad. En principio las oposiciones pueden existir en cuatro variantes posibles: 1) en el marco de un sistema íntegro y simultáneamente; 2) en el marco de un sistema, pero en diversos períodos de tiempo, cuando una oposición

existe y la otra ha desaparecido ya o no ha surgido aún; 3) en sistemas diversos y casi desligados entre sí, pero simultáneamente, y 4) en distintos períodos de tiempo y en diversos sistemas, espacialmente alejados unos de otros. Es evidente que los casos 2, 3 y 4 excluyen la posibilidad de un vínculo íntimo entre las oposiciones y por ello no cabe hablar de su unidad. Tan sólo la existencia simultánea de las oposiciones en el marco de un sistema íntegro (primer caso) asegura la posibilidad de su unidad y constituye, así, la base de una contradicción objetiva.

¿Qué correlación existe entre los conceptos de contradicción y diferencia? Suele afirmarse que toda diferencia es una contradicción en una fase mayor o menor de su desarrollo. Sin embargo, no podemos estar conforme con ello. Los conceptos de diferencia y contradicción no son equivalentes y no se les puede identificar. En el mundo hay multitud de fenómenos distintos entre sí; a veces sus diferencias son muy esenciales, pero no hay contradicciones entre ellos. Por ejemplo, cualquier objeto de una habitación se diferencia de la galaxia de Andrómeda y, sin embargo, es imposible encontrar entre ambos alguna contradicción. Y no se trata solamente de que no hay entre ellos relación directa. Existen numerosos objetos o propiedades que están directamente vinculados entre sí, pero, a pesar de ello, no se contradicen. El volumen de un globo está íntimamente relacionado con su diámetro, y se trata de propiedades completamente distintas, pero tampoco hay entre ellas ninguna clase de contradicción. Para que la diferencia se manifieste como una contradicción es preciso que las partes diferentes estén en oposición y existan en unidad orgánica y recíproca.

Importa señalar que en la filosofía materialista-dialéctica el concepto de contradicción se emplea en un sentido algo distinto que en la lógica formal. En lógica formal se entiende por contradicción la existencia en los razonamientos de juicios que se excluyen recíprocamente. Al mismo

tiempo, una de las leyes fundamentales de la lógica dice que si afirmamos algo sobre el objeto del pensamiento, no debe afirmarse algo directamente opuesto sobre ese mismo objeto en las mismas condiciones. Por ejemplo, si decimos que el libro está sobre la mesa, no puede afirmarse, a renglón seguido, que el libro no está sobre ella. Este tipo de contradicciones en los juicios demuestra su inconsistencia interna y constituye un grave defecto en los razonamientos lógicos.

Así, pues, la lógica formal exige la exclusión de las contradicciones en los juicios.

¿Es compatible esa exigencia de la lógica con la tesis del materialismo dialéctico sobre la objetividad de las contradicciones en la naturaleza? Por extraño que parezca, concuerdan entre sí. En efecto, toda teoría científica no debe contradecirse lógicamente, pues en caso contrario no podría reflejar adecuadamente la realidad.

Esta tesis no siempre se comprende bien. Algunos autores suponen que como las contradicciones existen objetivamente en la naturaleza, la teoría que las refleja debe incluir, asimismo, esas contradicciones. Con este motivo denigran por todos los medios las exigencias de la lógica respecto a la no contradicción de los juicios, acusándola de metafísica. Sin embargo, semejante razonamiento carece de base. *Las contradicciones objetivas pueden y deben concebirse como no contradictorias desde el punto de vista lógico.* Toda contradicción en los juicios sobre un mismo tema demuestra su falta de validez y debe ser eliminada. En efecto, la contradicción objetiva es la interrelación de las oposiciones. Una teoría científica debe reflejar correctamente la esencia de cada oposición y su anexión recíproca. Pero si consigue un reflejo efectivamente adecuado, no expondrá juicios que se excluyan recíprocamente, ya que si existen dos juicios, uno de los cuales es absolutamente verdadero, el otro, que se refiere al mismo objeto y afirma algo diametralmente opuesto, ha de ser falso a todas luces. Toda teoría conse-

cuentemente científica debe explicar de un modo completo y no contradictorio lógicamente los fenómenos que estudia.

¿Cómo puede compaginarse, en este caso, la exigencia de la lógica con la tesis de la dialéctica sobre el carácter objetivo de las contradicciones? Las leyes de la lógica formal son reglas para razonamientos consecuentes, y la propia lógica formal cumple la función de una gramática de juicios correctos. En virtud de eso, el cumplimiento de sus exigencias tienen una importancia primordial en la esfera de las demostraciones científicas. Pero la lógica formal no se extiende a las relaciones objetivas y a las propiedades de los objetos, es decir, no tiene una validez ontológica.

Las propiedades y relaciones objetivas se subordinan a leyes dialécticas, y su expresión teórica son las leyes de la lógica dialéctica. Esto significa que la lógica dialéctica, la lógica objetiva y la teoría dialéctica del conocimiento, por su contenido, coinciden en grado considerable entre sí. La lógica dialéctica comprende todas las leyes y exigencias fundamentales de la lógica formal, en cuanto reglas del razonamiento científico. Además, incluye en sí tesis y leyes que se salen del límite de la lógica formal y caracterizan las propiedades del propio mundo objetivo.

No es muy satisfactorio, ciertamente, que la teoría materialista dialéctica y la lógica formal empleen, a veces, los mismos términos, aunque lo hagan en diferente sentido. Eso se refiere, ante todo, al concepto de contradicción. En la lógica formal se entiende por contradicción la incompatibilidad entre la significación de los juicios, mientras que para el materialismo dialéctico es el proceso de interacción de las oposiciones objetivas.

Examinemos concretamente qué contradicciones y oposiciones existen en la esfera de la naturaleza inorgánica.

Si nos fijamos en la estructura de la materia, veremos que la idea de la unidad de contrarios se confirma con la máxima brillantez en el hecho de la existencia de partículas y antipartículas. A casi toda partícula le corresponde deter-

minada antipartícula, que se distingue de ella por el signo de la carga eléctrica o del momento magnético. Las partículas y las antipartículas no pueden existir conjuntamente durante un largo período de tiempo, ya que durante las colisiones interactúan entre sí de modo que desaparecen como tales, transformándose en fotones u otros microobjetos. Las antipartículas se originan artificialmente, pero sólo durante las reacciones nucleares de gran energía, por ejemplo, en aceleradores potentes o en los rayos cósmicos. Debido a ello, la unidad de esos contrarios en la microestructura de la materia puede ser temporal y relativa únicamente. Pero en la escala del cosmos puede ser constante.

De los datos teóricos de la física actual se deduce que los átomos construidos por antipartículas tienen la misma estabilidad que los átomos corrientes. En los núcleos de esos átomos habrá antiprotones y antineutrones, y en torno de los núcleos girarán positrones en vez de electrones. Si la cantidad de esos átomos es muy elevada, constituirán un antimundo entero. Por ahora resulta imposible distinguir un antimundo semejante de la sustancia del mundo corriente a base tan sólo de los datos espectrales, ya que las características espectrales de los átomos dependen del cuarto grado de la carga eléctrica y son, por consiguiente, iguales para toda clase de átomos. La existencia de dichas formas de la materia podrá descubrirse por algunos otros efectos. En las regiones donde la sustancia del antimundo entre en colisión con la sustancia corriente habrán de producirse po entes procesos de transformación de partículas materiales en radiación; la región dada será entonces una fuente de elevada radiación de ondas electromagnéticas y partículas cósmicas. Hasta la fecha, sin embargo, no se ha conseguido descubrir las regiones donde la radiación pueda ser producida por semejantes procesos. Por ello, la hipótesis del antimundo no está directamente confirmada por ahora; sin embargo, ya no se duda de su sentido objetivo, pues se desprende lógicamente de todo el aparato teórico de la

física moderna del microcosmos, que ha sido profundamente confirmado por la práctica.

¿Cómo se realiza en el ejemplo citado la idea de la unidad de los contrarios? Si examinamos una partícula cualquiera en nuestro mundo y alguna partícula de carga opuesta en el antimundo, veremos que, pese a ser opuestas, no constituyen una unidad, pues pertenecen a sistemas completamente distintos y en la práctica no interactúan entre sí. Sus relaciones no serán contradictorias.

La unidad de contrarios se producirá en el caso solamente de que la partícula y la antipartícula entablen una acción directa y recíproca entre sí, cosa que puede ocurrir durante la generación artificial de las antipartículas. Mas esa unidad será relativa y temporal, ya que los pares de partículas opuestas se convierten bien en radiación electromagnética, bien en otros microobjetos.

Sin embargo, no debemos olvidar que toda partícula integra el cuerpo macroscópico y éste forma los sistemas cósmicos. Estos últimos pueden interactuar directamente con los sistemas correspondientes del antimundo y, en ese caso, la unidad de los contrarios continuará todo el tiempo que se quiera, siempre que no se produzca la colisión directa de esos sistemas. De este modo, la unidad de los contrarios, que radica en las leyes del microcosmos, se realiza directamente en la escala del cosmos.

En la estructura de la materia lo continuo y lo discontinuo constituyen las oposiciones más importantes. Estas propiedades de los objetos materiales se encuentran en constante interacción recíproca. Su unidad se manifiesta en algunos aspectos. Cualquier cuerpo macroscópico que parece continuo por su estructura está constituido en realidad por numerosas partículas discretas. Las propias partículas discretas son formaciones de materia sumamente complejas, que poseen propiedades corpusculares y ondulatorias y están indisolublemente unidas a diversos campos. Los electrones, por ejemplo, se manifiestan en su interacción recí-

proca, durante su absorción y radiación, como partículas; pero su movimiento en el espacio y su dispersión, al pasar la reja de difracción, están supeditados a leyes ondulatorias. La corriente de electrones después de su dispersión forma en la pantalla un cuadro de interferencia, que se produce sólo al dispersarse las ondas, pero no las partículas.

Esta unidad de propiedades corpusculares y ondulatorias es posible únicamente en el movimiento de las micropartículas y se refleja en las correlaciones de la mecánica cuántica. La mecánica cuántica determina para cada micropartícula una cierta longitud de onda, que depende de su masa y velocidad de movimiento. La longitud de onda expresa la región de la posible localización espacial de la partícula, en virtud de lo cual los microobjetos no pueden considerarse como formaciones discretas claramente determinadas, poseedoras de dimensiones geométricas absolutamente exactas e invariables. Las dimensiones reales de los microobjetos dependen de su velocidad y del carácter de su recíproca interacción; por ello la idea del carácter discreto de la partícula debe completarse con la de su continuidad.

La unidad de lo continuo y lo discontinuo se manifiesta en la conexión entre las partículas y los campos. Cada micropartícula no existe por separado, sino que interactúa constantemente con diversos campos que agrupan las partículas en sistemas más complejos. El campo no es algo exterior con relación a la partícula, sino que está íntimamente unido a su microestructura. Algunas propiedades importantes de las partículas representan las constantes de su relación con los campos correspondientes. Así, la masa es la característica de la conexión de las partículas con el campo gravitacional; la carga eléctrica es la constante de su vínculo con el campo electromagnético, y las cargas mesónicas, propias de algunas partículas, expresan sus nexos con los campos mesónicos. Como dichas propiedades son inseparables de las partículas, deducimos de ello la indisoluble uni-

dad de las partículas y los campos. El campo viene a ser la continuación, por decirlo así, exterior de la esencia interna de las micropartículas y resulta imposible señalar con exactitud el límite donde acaba la propia partícula y comienza su campo exterior. Por ejemplo, el radio del protón se valora en $7 \cdot 10^{-14}$ *cm*, pero esa magnitud tiene un valor relativo, ya que caracteriza la región donde está distribuido el campo mesónico que forma parte íntimamente de la estructura del protón. Sin embargo, todos los campos son una forma de materia que está distribuida sin interrupción en el espacio. Por tanto, los microobjetos que existen realmente constituyen, en relación con su distribución espacial, la unidad de lo continuo y lo discontinuo.

Gracias a esas peculiaridades de los microobjetos, su esencia interna es una unidad de lo finito y lo infinito. La partícula, como formación discreta, se caracteriza siempre por un número finito de grados de libertad. A diferencia de ello, el campo electromagnético y gravitacional representa sistemas materiales donde el número de grados de libertad es infinito; para describirlos se necesitaría una infinita multitud de parámetros. Ahora bien, como los campos son inseparables de las partículas, todo microobjeto, en relación con los grados de libertad, representa de hecho la unidad de lo finito y lo infinito.

La unidad de los contrarios dados se observa igualmente en otro plano. Toda micropartícula es inagotable en su estructura y está compuesta por una cantidad infinita de ciertos elementos de la materia, cualitativamente distintas, con un número infinito de propiedades. Sin embargo, esa infinita multitud de elementos se unifica en una determinación cualitativa *única*, ya que, con respecto a otras formas de la materia, cada micropartícula es una formación íntegra de la materia.

La unidad de lo finito e infinito se observa igualmente en la distribución espacial de los microobjetos y de todos los demás cuerpos. Es sabido que todo cuerpo material ocupa

un volumen de espacio limitado. Sin embargo, el campo creado por el cuerpo dado tiende a una difusión ilimitada en el espacio. El campo radiado se lleva siempre una parte de la materia que constituye el cuerpo dado y asegura así su conexión con otros cuerpos. Gracias a la acción de los campos, el cuerpo finito pone de manifiesto su existencia en sistemas materiales tan alejados de él como se quiera. La propia posibilidad de conocer las propiedades de sistemas cósmicos extremadamente alejados se basa, precisamente, en el hecho de que los objetos materiales, en su distribución espacial, representan la unidad de lo finito y lo infinito.

Por fin, esta unidad se manifiesta en el carácter de existencia de los cuerpos en el tiempo. Todo objeto puede existir como una cualidad concreta dada un limitado periodo de tiempo tan sólo: tuvo su principio en el tiempo y tendrá inevitablemente su fin. Pero la materia que lo ha constituido ha tenido y tendrá una existencia infinita. Es inagotable y puede pasar de unas formas a otras.

Para comprender correctamente la unidad de los contrarios dados, no podemos considerar la materia en consonancia con el principio del tercero excluido, es decir, suponer que la materia debe ser bien continua, bien discontinua, bien de estructura finita o infinita. En este caso no puede aplicarse el razonamiento de "lo uno o lo otro", lo mismo que en otros muchos casos. Rige aquí un nuevo principio lógico de compatibilidad de contrarios: "lo uno y lo otro", "tanto lo uno como lo otro", que aplicado al caso que examinamos significa que la materia *es* continua y *es* discontinua en su estructura; *es* finita y *es* infinita.

Más todavía, cualquier objeto puede poseer simultáneamente unas propiedades y las diametralmente opuestas, pero en diferentes vínculos y relaciones. Volveremos a enfrentarnos con esa unidad de contrarios al examinar algunas categorías pares del materialismo dialéctico, tales como lo interno y lo externo, la casualidad y la necesidad, lo posible

y lo real, etc. Diríase que esa unidad dialéctica de aspectos polares halla su expresión en el concepto de la transformación recíproca, de identidad de los contrarios. Lenin escribía que "la *dialéctica* es la teoría de cómo pueden ser y cómo son (cómo devienen) *idénticos los contrarios*, en qué condiciones son idénticos al convertirse el uno en el otro y por qué la inteligencia humana no debe considerar esos contrarios como algo inerte y congelado, sino como algo vivo, convencional, móvil y capaz de recíprocas transformaciones".[2]

La interacción de los contrarios puede manifestarse en formas de extraordinaria diversidad. En los fenómenos sociales y en la naturaleza viva las contradicciones se manifiestan frecuentemente en forma de lucha de diversos contrarios. Sin embargo, la palabra "lucha" no puede comprenderse siempre al pie de la letra. En la esfera de la naturaleza inorgánica la "lucha" de los contrarios casi nunca se manifiesta en forma de activa e irreconciliable pugna de fuerzas irreconciliables, sino que aparece en forma de interacción de fuerzas, tendencias y propiedades opuestas de los objetos materiales. Al formular la tesis de que "el desarrollo es la "lucha" de los contrarios", Lenin ponía la palabra "lucha" entre guiones. Y, probablemente, no lo hacía por casualidad.[3] El concepto de lucha es bastante restringido y no abarca todos los casos de las interrelaciones de los contrarios, sobre todo en la naturaleza. Por ejemplo, no hay ninguna lucha entre atracción y repulsión, lo continuo y lo discontinuo, lo finito y lo infinito, lo casual y lo necesario, etc., aunque dichos contrarios constituyen una unidad. Para reflejar semejante unidad es mucho más adecuado el concepto de interacción de los contrarios, existente en la realidad, que el concepto de lucha. Por lo que se refiere a ésta, no es más que un caso particular de interacción de los contrarios que

[2] V. Lenin, *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, t. 38, ed. rusa, págs. 97-98.

[3] V. Lenin, *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, t. 38, pág. 358.

tiene lugar en la esfera de los fenómenos sociales y, parcialmente, en la naturaleza orgánica. En relación con lo dicho debemos señalar que F. Engels, al formular las leyes de la dialéctica, había calificado la ley que examinamos de *ley de mutua penetración de las antítesis polares y de transformación de unas en otras si se las lleva hasta su extremo.*[4] Esta formulación resulta mucho más adecuada para reflejar las interrelaciones de los contrarios en la naturaleza. Por ello se ha de tomar en cuenta su contenido al analizar dicha ley.

2. Los contrarios en las formas de movimiento de los cuerpos inorgánicos

Hasta ahora hemos hablado de contrarios en la estructura de los objetos materiales. Ahora debemos examinar la unidad de los aspectos polares en las formas de movimiento de la naturaleza inorgánica. Algunas de esas formas son propias de todas las clases de materia conocida, y por eso sus contradicciones tienen carácter universal. Figura, principalmente, entre esas formas de movimiento el desplazamiento espacial que acompaña a casi todo cambio.

Refiriéndose a esa forma de movimiento, Engels escribía: "Ya el movimiento es de por sí una contradicción; el simple desplazamiento mecánico de lugar sólo puede realizarse gracias al hecho de que un cuerpo esté al mismo tiempo, en el mismo instante, en un lugar y en otro, gracias al hecho de estar y no estar al mismo tiempo en el mismo sitio. Y el surgimiento continuo y la simultánea solución de esta contradicción es precisamente lo que constituye el movimiento."[5]

Los adversarios del marxismo ponen en duda esa tesis

[4] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, ed. esp. cit., pág. 1.

[5] F. Engels, *Anti-Dühring*. Trad. esp. Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo, pág. 146.

de Engels, considerándola incompatible con la ley del juicio no contradictorio. Ciertos filósofos, que defienden las posiciones del materialismo dialéctico, han manifestado asimismo sus recelos.[6] Se hacia notar, al mismo tiempo, que ningún cuerpo puede hallarse simultáneamente en dos lugares a la vez, ya que esto es absurdo. Del mismo modo no hay ninguna contradicción en el movimiento del cuerpo: éste se encuentra primeramente en un sitio, luego en otro, más tarde en el tercero, etc. Las contradicciones pueden originarse sólo en nuestra concepción del movimiento, pero se deben a la extraordinaria limitación de nuestro juicio.

Esas objeciones, pese a su aparente fuerza de persuasión, simplifican de hecho el proceso objetivo del movimiento, consiguiendo así una seudoeliminación de la contradicción objetiva. Criticando a V. M. Chernov, para quien el movimiento era la estancia sucesiva de un cuerpo primero en un lugar, luego en el segundo, más tarde en el tercero, etc., Lenin decía que esa concepción del movimiento era *"errónea:* 1) describe el *resultado* del movimiento y no el *propio* movimiento; 2) no muestra, no contiene en sí la *posibilidad* del movimiento, y 3) representa el movimiento como una suma, como una vinculación de estados en *reposo*, es decir, no elimina la contradicción (dialéctica), sino que la oculta, la aparta, la tapa, la vela".[7]

Para demostrar la justeza de la concepción marxista-leninista del desplazamiento espacial pensemos que un cuerpo de longitud determinada se mueve en un plano en el que se ha marcado una escala exacta. Supongamos que la longitud del cuerpo es de 3 *cm*, su velocidad de 1 *cm/seg* y que el movimiento transcurre cerca del plano y paralelamente a él.

A primera vista parece que el cuerpo, en cada momento dado de tiempo, estará solamente en un sitio y no en otro

[6] Véase los artículos de A. Schaff en *Studia Filozoficzne*, núm. 1, 1957; *Deutsche Zeitschrift fur Philosophie*, núm. 3, 1956.

[7] V. Lenin, *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, ed. rusa, t. 38, pág. 255.

distinto; es decir, que existe una correspondencia recíprocamente equivalente entre determinados momentos de tiempo y sectores del camino. Por ejemplo, al principio del tercer segundo del comienzo del movimiento el cuerpo se encontraría en el segmento comprendido entre el 2° hasta el 5° *cm* de la escala; al término del séptimo segundo, en el segmento del 7° al 10° *cm*, etc. Al parecer, la contradicción en el movimiento ha sido eliminada.

Sin embargo, esta conclusión se basa en una conjetura inaceptable a todas luces, o sea, que el cuerpo en movimiento posee durante todo su movimiento dimensiones absolutamente exactas, debido a lo cual puede determinarse siempre y con toda claridad si en el momento dado se encuentra en cierto sitio o no se encuentra en él. Mas este supuesto, por sí solo, no se basa en nada.

Sólo un cuerpo absolutamente sólido podría tener dimensiones absolutamente exactas; pero en la naturaleza no existen tales cuerpos. Los que existen realmente no poseen dimensiones absolutamente exactas. En efecto, la exacta determinación de la longitud de un eje tiene sentido con un margen de error del orden de 10^{-8} *cm*, es decir, las dimensiones del átomo. La precisión ulterior resulta imposible por principio, ya que los átomos oscilan constantemente en torno a ciertas posiciones de equilibrio, y pasado el límite de exactitud de 10^{-8} *cm*, las dimensiones del eje serán objetivamente indeterminadas y estadísticamente medias en el tiempo. Esto se debe a que los propios átomos carecen de dimensiones absolutamente exactas. Sus dimensiones se caracterizan por la distribución de la densidad de la nube electrónica, y esta última depende exclusivamente de las conexiones internas y externas del átomo, que varían sin cesar. Las dimensiones de las partículas elementales son estadísticamente medias en el tiempo. Cada micropartícula está indisolublemente unida a diversos campos. El campo constituye una parte integrante de su estructura, y viene a ser el exponente de su esencia interna. Pero como el campo

de la partícula cambia constantemente debido a los cambios en el carácter de sus nexos exteriores, también cambia continuamente la región de la distribución espacial o las dimensiones de la partícula.

Gracias a que las dimensiones del cuerpo trascienden el límite de cierto grado de exactitud y son estadísticamente medias en el tiempo, el cuerpo en movimiento se encontrará y no se encontrará en cada momento de tiempo en el lugar dado. Semejante unidad de contrarios tendrá lugar no sólo en su estado de movimiento, sino también en el estado de reposo relativo del cuerpo. Esta contradicción está condicionada objetivamente por el constante movimiento de los microobjetos que componen el cuerpo, así como por la unidad de lo continuo y lo discreto en su distribución espacial.

En relación con esto resulta interesante examinar si se conserva esa contradicción al disminuir mentalmente las dimensiones del cuerpo, haciéndolas infinitamente pequeñas. ¿Cabe afirmar, acaso, que un cuerpo infinitamente pequeño, un *punto*, por ejemplo, se halla en cada momento de tiempo dado en otro punto y no se halla en él? Por sorprendente que parezca, esta afirmación no puede hacerse con relación al punto. En efecto, si un punto pudiese estar y no estar simultáneamente en un punto dado, no sería un punto. El propio concepto de punto presupone que es indivisible; si es divisible (lo sería si pudiese estar y no estar simultáneamente en dos puntos), deja de ser punto. Por eso un punto indivisible en movimiento se encontrará primero en un punto, luego en el segundo, más tarde en el tercero, etc. El conjunto de esos puntos infinitos puede constituir un segmento real, lo mismo que el conjunto de una infinita multitud de momentos *indivisibles* de tiempo forma el tiempo real. En ese caso no habría ninguna contradicción en el movimiento.

Así sería en la realidad si en la naturaleza existiesen efectivamente puntos indivisibles y lapsos indivisibles de tiempo. Pero el quid de la cuestión radica, precisamente,

en que en la naturaleza no hay ni puede haber semejantes indivisibles. La idea de que existen puntos indivisibles y períodos indivisibles de tiempo proviene de la suposición de que existen unidades infinitamente pequeñas de espacio y tiempo, es decir, unidades que ya no pueden ser más pequeñas. Mas el concepto de lo infinitamente pequeño en acto es contradictorio. Presupone que la infinita división del espacio y el tiempo puede culminarse plenamente. Si fuera así, esa división dejaría de ser infinita. La única magnitud que no puede subdividirse en elementos todavía más pequeños es el *cero*. Pero el cero no contiene en sí ninguna extensión ni tiempo alguno. De la suma de esos elementos, por muy grande que fuese su número, jamás se originaría ni el espacio ni el tiempo reales. Todo segmento de longitud o lapso de tiempo realmente existente se diferencia de cero y, por ello, puede subdividirse en elementos todavía más pequeños. Pero si en la naturaleza no existen elementos materiales absolutamente indivisibles, el modo arriba señalado de superación de las contradicciones en el movimiento resulta lógicamente incorrecto.

Lo infinitamente pequeño no es cero ni una magnitud acabada en el acto e indivisible posteriormente, sino una *magnitud variable*, que tiende ilimitadamente a cero como a su límite. Puede convertirse en una magnitud menor que cualquier magnitud finita propuesta de antemano, pero, sin embargo, jamás se vuelve igual a cero. El espacio y el tiempo reales están constituidos por ese género de magnitudes infinitamente pequeñas y la contradicción en el movimiento, arriba señalada, se conserva en ellos.

En efecto, lo infinitamente pequeño es una magnitud que carece de exacta determinación cuantitativa. En la región de las magnitudes infinitamente pequeñas o infinitamente grandes no vale la regla matemática según la cual la parte es menor que el todo; la mitad de lo infinitamente pequeño equivale a dos infinitamente pequeñas y, en general, a cualquier cantidad finita de magnitudes infinita-

mente pequeñas. En virtud de ello, un cuerpo infinitamente pequeño en movimiento se encontrará y no se encontrará en un mismo espacio de tiempo, todo lo breve que se quiera, en el lugar dado (también infinitamente pequeño). En este caso, la contradicción en el movimiento está condicionada por la unidad de los contrarios en el propio infinito.

Además de esta contradicción, en la naturaleza inorgánica existen también otras. Una de ellas expresa las interrelaciones entre la variabilidad y la estabilidad en la estructura de los objetos materiales. Se sabe que todo objeto experimenta constantes cambios internos gracias al movimiento de sus partículas integrantes y a su interacción con otros cuerpos. Al mismo tiempo, cada cuerpo posee propiedades estables. Esa estabilidad se extiende a todas las formas de movimiento. En el movimiento mecánico se manifiesta en forma de un reposo relativo, en caso de movimiento atómico se expresa en la estabilidad de las propiedades químicas del cuerpo, de sus características espectrales, etc. Aplicado a las formas biológicas del movimiento, la estabilidad se manifiesta en la duración de la forma del organismo, de sus funciones, del tipo de sus vínculos internos, etc., aunque a pesar de ello se renueva constantemente en el organismo la composición química gracias al metabolismo. La unidad de los contrarios, la variabilidad y la estabilidad se refleja en el concepto de *equilibrio dinámico*, que tiene gran importancia en las ciencias naturales.

En realidad, todo sistema material se halla en equilibrio dinámico, empezando por el átomo y terminando por las gigantescas galaxias. Aunque los elementos componentes del sistema se encuentran en constante cambio, su estructura, la ley de la organización y las propiedades fundamentales se conservan en forma estable. Diríase que a la organización interna del sistema le corresponde siempre una determinada inercia, la capacidad de conservar su forma y las leyes de desarrollo, así como la de oponerse a todas las acciones externas, dirigidas a modificar el estado interior.

En física y química, esta ley se expresa en el principio de Le Chatelier, llamado a veces principio de la reacción atenuadora. Según ese principio, todo sistema estable en equilibrio tiende a conservar su estado de equilibrio, y si sobre el sistema se ejerce alguna acción, se originan en ella procesos que tienden a anular o debilitar el efecto de dichas acciones. Por ejemplo, si en un recipiente aislado se tiene gas y se eleva la presión, en el caso de que el calor abandone el gas, éste se comprimirá como si tratase de restablecer la temperatura anterior. Al recibir calor, el gas se dilatará a fin de conservar la temperatura anterior. La compresión de un cuerpo elástico por fuerzas exteriores suscitará en ese cuerpo la aparición de fuerzas internas que tratarán de restablecer la forma inicial del mismo. El principio señalado también actúa en forma específica en la naturaleza viva, donde todo influjo desfavorable para el organismo suscita en él diversos cambios dirigidos contra dicho influjo. Algo semejante se produce en algunos fenómenos sociales, aunque en este caso las fuerzas interactuantes tienen una esencia totalmente distinta.

Es interesante señalar que en los sistemas mecánicos la unidad de lo estable y variable se expresa en la masa de los cuerpos. La masa representa la medida de la inercia y al mismo tiempo la medida de la propia energía interna del sistema, pues caracteriza sus capacidades potenciales para diversas conversiones y la realización de trabajo. De este modo, en la masa se expresa la unidad de tendencias opuestas propias de la materia.

Subrayando la existencia de la inercia y de la estabilidad cualitativa en los cuerpos, hemos de observar que esa estabilidad no es algo absolutamente antepuesto al movimiento. Engels había calificado la inercia mecánica de "expresión negativa de la indestructibilidad del movimiento",[8] es decir, de una propiedad de los cuerpos que está relacionada con

[8] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, ed. esp. cit., pág. 1.

su cambio. Del mismo modo, la estabilidad cualitativa de los cuerpos está condicionada por su movimiento interno, por el carácter de las interacciones de los elementos integrantes de la materia. Por ejemplo, la estabilidad de algunas propiedades físico-químicas de un cuerpo sólido está determinada por un tipo especial de conexiones entre sus átomos y moléculas. Pero toda conexión e interdependencia constituyen un movimiento de género especial; por consiguiente, debemos reconocer que el reposo y la estabilidad son el resultado o el caso particular del movimiento.

La ciencia contemporánea ha descubierto una expresión interesante de la unidad de los contrarios en el movimiento en el hecho de la mutua conversión de las partículas. Gracias a esa capacidad, la micropartícula *en cada momento dado existe y no existe como una formación dada.*

Para demostrarlo debemos, primeramente, explicar en pocas palabras cómo entendía la física clásica el concepto de partícula y cómo se entiende hoy día. La física clásica consideraba que las micropartículas eran siempre idénticas, pese a su movimiento e interacciones; que la suma total de partículas de uno u otro género no variaba en todas las reacciones y que los productos finales de la reacción se diferenciaban de los cuerpos iniciales por el mero reagrupamiento de unos y mismos elementos invariables: $A + B = AB$. La física actual ha refutado la idea de la invariabilidad de los microobjetos y ha establecido su propiedad universal de convertibilidad. Como resultado de esas transformaciones los productos finales de la reacción se distinguen radicalmente de las partículas iniciales: $A + B = C + D$. Por ejemplo, la interacción de las partículas y de las antipartículas conduce a su transformación en cuantos de campo electromagnético y, en algunos casos, en mesones. Estos últimos se desintegran en electrones (positrones) y neutrino.

Pero no sólo se trata de eso. Cada micropartícula interactúa incesantemente con diversos campos y otras partículas. Esta interacción se produce en forma de radiación y

absorción de cuantos de los campos correspondientes. Como los cuantos representan formaciones materiales especiales, todos esos procesos conducen a determinadas modificaciones en la estructura y en las propiedades de las micropartículas. En virtud de ello, en cada momento dado la micropartícula es y no es la misma de antes.

Para ilustrar esos cambios examinaremos los procesos que se producen con el neutrón. El neutrón es una partícula neutra con una masa de 1838,6 de masa (en masa de electrón); su período de semidesintegración en estado libre es, aproximadamente, de 17 minutos. Como el electrón no posee carga eléctrica no debería tener, al parecer, momento magnético, si se considera que las propiedades magnéticas son producidas siempre por el movimiento de las partículas cargadas. Sin embargo, se ha descubierto que el neutrón tiene momento magnético, igual, más o menos, a — 1.91 del magnetón nuclear. Por otra parte, se ha establecido que el protón posee momento magnético de 2,79 del magnetón nuclear y no igual a 1 como se suponía en teoría.

Para explicar esos fenómenos se expuso la teoría de que los momentos magnéticos sobrantes se deben a la interacción de protones y neutrones con el campo mesónico cargado, inseparable de esas partículas; es decir, que los protones y neutrones no existen como partículas invariables, sino que experimentan constantemente transformaciones internas. El neutrón se "disocia" constantemente en protón y mesón-π^-, después de lo cual ambas partículas vuelven a combinarse en la forma inicial: $n \rightleftarrows p + \pi^-$.

Lo mismo ocurre con el protón, que pasa una parte determinada de su tiempo de existencia en estado de neutrón y mesón-π^+: $p \rightleftarrows n + \pi^+$. Los protones y neutrones existen en estado "disociado" un 20 por ciento, aproximadamente, de todo el tiempo.

Es inherente a los mesones-π un determinado momento magnético y lo transfieren a los nucleones, con la particularidad de que el momento magnético del protón y del neu-

trón que se origina debido a ello está en consonancia con el observado experimentalmente. La "desintegración" temporal del protón en neutrón y mesón-π^+ y del neutrón en protón y mesón-π^- recibe el nombre de proceso *virtual*. Las partículas que se originan virtualmente existen en un radio del orden de $7 \cdot 10^{-14}$ *cm*, y en un intervalo aproximado de tiempo de 10^{-23} *seg*. La extraordinaria pequeñez de dichas magnitudes no permite, por ahora, la observación directa de esas "desintegraciones" en los experimentos. Eso no significa, sin embargo, que la idea de las conversiones virtuales sea una ficción teórica. La realidad de los procesos dados se demuestra indirectamente por los experimentos que se hacen a fin de precisar la estructura de los protones. Gracias a esos experimentos se ha establecido que el protón representa, efectivamente, una formación muy compleja, en el centro de la cual existe un "núcleo" denso, rodeado de un campo mesónico cargado. Ese campo se considera como un conjunto de mesones-π virtuales.

Esos procesos son igualmente posibles con relación a otras micropartículas. Por ejemplo, según la electrodinámica cuántica, el electrón engendra, constante y virtualmente, al fotón y lo absorbe en el acto. Otras partículas cargadas se comportan de igual modo. Eso significa que las partículas elementales no existen durante un período de tiempo duradero en un mismo estado, sino que experimentan incesantes transformaciones internas. Sus propiedades no poseen valores fijados con absoluta exactitud, sino que son *estadísticamente medios* en el tiempo. Cada micropartícula existe y, al mismo tiempo, no existe en la forma dada. En ello radica la profunda unidad dialéctica de los contrarios, totalmente incompatible con el concepto metafísico de los microfenómenos.

El propio proceso de interacción de las partículas es igualmente contradictorio. Según la teoría cuántica, la atracción entre las partículas se produce en virtud del intercambio de cuantos del campo electromagnético, gravita-

cional y nuclear. Este intercambio se basa en la bilateral *radiación* y *absorción* de los cuantos por las partículas; es decir, la propia interacción resulta posible gracias únicamente a la unidad de los procesos contrarios.

Con el paso de las partículas elementales a los átomos y a las moléculas nacen nuevas formas de contradicciones. La forma del movimiento químico se basa en la contradicción entre asociación y disociación de los átomos y las moléculas. Entre los átomos existen fuerzas electromagnéticas de atracción, a las que se oponen fuerzas opuestas, originadas como resultado del propio movimiento de los átomos y la acción de los estímulos exteriores. Esas fuerzas opuestas aspiran a quebrantar el nexo químico entre los átomos y a provocar la desintegración de las moléculas. Debido a ello, todo el sistema, siempre que tenga estabilidad, permanece en un estado de equilibrio dinámico.

Una contradicción análoga existe también en otros sistemas físicos, igual si se trata de cuerpos macroscópicos que de sistemas estelares. Los elementos integrantes de un sistema, que poseen velocidades propias relativamente grandes, aspiran a abandonar el sistema. Se oponen a esta tendencia potentes fuerzas electromagnéticas o gravitacionales que contienen a los elementos en el marco del sistema. El sistema es estable mientras que la energía de sus conexiones internas sea mayor que la energía de la acción exterior y la energía cinética total de los elementos integrantes. En caso contrario se produce la contradicción entre la vieja forma de organización y las nuevas fuerzas del sistema. La solución de esa contradicción conduce al cambio de la estructura del sistema y al nacimiento de una nueva forma de la materia, dotada de equilibrio dinámico.

Las formas de movimiento biológico se caracterizan por sus propias contradicciones. La más general es la contradicción entre el organismo y las condiciones de su existencia, cuya solución conduce a la transformación de la forma interna y del tipo de metabolismo del organismo, a la modifi-

cación de sus caracteres hereditarios en consonancia con las nuevas condiciones de vida. El metabolismo, de por sí, constituye una contradicción entre la asimilación y la disimilación. En diversas formas de reflejo existe la contradicción entre excitación e inhibición, cuya acción recíproca constituye el contenido interno del proceso de excitabilidad, sensación y pensamiento. Por último, en las relaciones entre las especies, y dentro de las mismas, las contradicciones se manifiestan en forma de lucha de competencia entre individuos de la misma especie, si están limitados en las condiciones de vida, y, sobre todo, en forma de lucha entre las especies. El resultado de la acción de esas contradicciones es la selección natural.

En los fenómenos sociales se producen contradicciones de un tipo totalmente nuevo: entre el hombre y la naturaleza, entre las fuerzas productivas y las relaciones de producción, la base y la supraestructura, la producción y el consumo, las diversas clases y grupos sociales, entre los Estados y entre lo viejo y lo nuevo en todas sus manifestaciones. Las contradicciones sociales pueden tener un carácter antagónico o no antagónico.

Los conceptos de contradicción antagónica o de contradicción no antagónica pueden aplicarse sólo a la esfera de los fenómenos sociales, ya que su solución presupone la acción de un factor subjetivo, la posibilidad de elegir entre el modo pacífico o el violento. En la esfera de los fenómenos de la naturaleza dichos conceptos son inaplicables, y si son empleados por algunos naturalistas, no pasan de ser una especie de metáfora. Los casos conocidos de aniquilamiento recíproco de partículas y antipartículas y su conversión en cuantos de campo electromagnético, de la lucha entre las especies, así como entre diversos microorganismos, son manifestaciones de formas de movimiento físico y biológico que se realizan siempre a base de determinadas leyes de la naturaleza y no pueden realizarse de otro modo. En estos casos no hay ninguna elección entre varias soluciones posibles, ya que

los fenómenos dados transcurren con arreglo a leyes inquebrantables de la naturaleza.

Vemos, pues, que con el desarrollo de la materia y la complicación de sus formas de movimiento constantemente se vuelven más complejos los tipos de las contradicciones y surgen contradicciones nuevas por principio, desconocidas anteriormente. Y en todos los fenómenos, empezando por las interacciones de las microparticulas y terminando por los complejos cambios sociales, las contradicciones constituyen el estímulo interno y el contenido del proceso de desarrollo.

3. La interacción de los contrarios como fuente de desarrollo.

El análisis de las contradicciones en las diversas formas de materia y movimiento nos conduce de lleno al problema de cómo la interacción de las contradicciones condiciona el desarrollo en la naturaleza inorgánica. La solución de ese problema depende de otros muchos problemas científico-naturales y filosóficos, pero la ley que estamos examinando permite trazar las vías fundamentales en esa dirección.

El desarrollo ascendente en la naturaleza inorgánica viene a ser un proceso de complicación de vínculos, formas de movimiento y estructura de los objetos materiales. Esta complicación está condicionada, en su esencia, por la interacción entre lo continuo y lo discontinuo, la atracción y la repulsión, así como por algunas otras contradicciones en la estructura de los cuerpos inorgánicos. Examinaremos sucesivamente cómo determina el desarrollo cada grupo de contrarios.

Una de las manifestaciones más importantes de la unidad entre lo continuo y lo discontinuo en la estructura de la materia es la vinculación indisoluble entre las partículas y el campo. Gracias, precisamente, a esa vinculación resulta posible la formación de diversos sistemas materiales. La ac-

ción de las fuerzas nucleares, transportadas por el campo mesónico, conduce a la agrupación de protones y neutrones en núcleos atómicos; los campos electromagnético y gravitacional asocian los núcleos y electrones en átomos, los átomos en moléculas y estas últimas en cuerpos macroscópicos. Incluso la formación de sistemas cósmicos gigantescos resulta posible gracias tan sólo a la acción unificadora del campo gravitacional. Sin esa unidad de lo continuo y discontinuo la materia no podría poseer ninguna estructura concreta y, por consiguiente, tampoco sería posible su desarrollo.

Además de lo continuo y discontinuo, el desarrollo de la materia está condicionado por la unidad de lo finito y lo infinito en su estructura. Si las partículas, como formaciones discretas, se caracterizan por un número finito de grados de libertad, los campos, por el contrario, poseen una multitud infinita de grados de libertad. La complicación de la materia debida a la interacción de las partículas y los campos resulta condicionada por la unidad de lo finito y lo infinito en su estructura.

Gracias a la conexión de esos contrarios, el desarrollo de la materia en cualquier sistema dado ejerce una determinada influencia sobre el proceso del desarrollo en otros sistemas, todo lo alejados que se quiera de él y superiores por sus dimensiones. Cada sistema material concreto posee dimensiones finitas, pero los campos que crea tienden a una propagación infinita en el espacio. Por ello, cualquier sistema puede, en principio, hacer acto de presencia en cualquier región del universo, por alejada que esté, y ejercer sobre ella cierta influencia. De ese modo el proceso de desarrollo en los sistemas finitos está indisolublemente unido a las modificaciones que se producen en el marco de todo el infinito universo.

Al mismo tiempo, el desarrollo en la naturaleza inorgánica está condicionado por la interacción de contrarios como la atracción y la repulsión, la absorción y la radiación. Las

fuerzas de atracción y repulsión se manifiestan en diversas formas, pero su unidad se produce en todos los sistemas estables. En la galaxia, por ejemplo, actúan potentes fuerzas gravitacionales entre todos los cuerpos, que tienden a unirlos en una formación más densa. Pero se oponen a ellos las fuerzas de "repulsión" de la más diversa naturaleza. La luz emitida por las estrellas presiona sobre las partículas de la sustancia en las nebulosas de gas y polvo, las "separa" de las estrellas y de este modo las dispersa en el espacio. Los campos electromagnéticos, creados por las estrellas y las nebulosas, aceleran los protones y los núcleos atómicos, gracias a lo cual una parte considerable de partículas cósmicas abandona nuestro sistema estelar. Además, una gran cantidad de estrellas posee sus propias velocidades de movimiento, bastante considerables, y con el tiempo abandonarán los límites de la galaxia. Por fin, a todas las fuerzas gravitacionales, dirigidas al centro de gravedad del sistema, se anteponen las fuerzas centrífugas de "repulsión", condicionadas por la rotación de los cuerpos en torno al centro de la galaxia. La unidad de todas esas fuerzas opuestas determina la estable estructura espiral de la galaxia y su evolución como sistema estelar.

Un cuadro análogo tiene lugar en el sistema solar, donde la atracción de los planetas hacia el Sol es equilibrada por las fuerzas centrífugas, que se originan durante la rotación de los planetas en sus órbitas.

En las propias estrellas, a la compresión gravitacional de la materia se anteponen las potentes fuerzas de presión de los rayos que se originan por las reacciones termonucleares, así como el movimiento intenso y turbulento de los gases. Resultado de ello es que las regiones periféricas de las estrellas se hacen como ingrávidas y vienen a ser un hirviente océano de gases en cambio constante.

En la microestructura de los cuerpos también se manifiesta la unidad de la atracción y la repulsión. Por ejemplo, en los núcleos atómicos entre protones de carga igual existe

una repulsión eléctrica muy fuerte, pero está superada por una atracción todavía más potente entre los nucleones, originados por la acción de las fuerzas nucleares. Sin embargo, cuando las distancias entre los nucleones son muy pequeñas, las fuerzas nucleares, a su vez, se convierten en fuerzas de repulsión extremadamente potentes de naturaleza todavía desconocida, que impiden la fusión recíproca de los mismos. Gracias a ello, el núcleo existe como un sistema dinámico estable. Al igual que toda otra formación, posee estabilidad y experimenta, al mismo tiempo, constantes cambios internos.

La unidad de atracción y repulsión constituye la condición imprescindible para el desarrollo de todo sistema. Si predominasen únicamente las fuerzas de repulsión, la materia estaría universalmente dispersa en el espacio, y si, por el contrario, predominasen las fuerzas de atracción, todos los cuerpos se fundirían en una masa continua y por ello sería imposible todo movimiento. "...Todo movimiento de atracción en el universo —decía Engels— se ve complementado por un equivalente movimiento de repulsión, y viceversa, o, como lo expresaba la filosofía antigua, la suma de todas las atracciones operadas en el universo es igual a la suma de todas las repulsiones."[9]

La interacción de dichos contrarios condiciona la indestructibilidad del desarrollo de la materia en el universo. Gracias a la acción de las fuerzas gravitacionales se concentra la materia dispersa por las estrellas y se asocia en gigantescas nebulosas difusas, que absorben la radiación electromagnética. La contracción ulterior de esas nebulosas origina, en determinadas condiciones, las reacciones termonucleares y el comienzo de un nuevo ciclo de desarrollo.

La teoría cuántica moderna permite relacionar las fuerzas de atracción y repulsión con otros procesos contrarios, a saber, con la absorción y radiación de cuantos de diferentes

[9] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, trad. esp. de W. Roces, Ed. Grijalvo, México, D. F., 1961, pág. 49.

campos por los cuerpos. Vemos, pues, que las fuerzas de atracción entre los protones y los neutrones están condicionadas por el intercambio de cuantos de campo nuclear o mesones entre los nucleones. El protón emite el mesón, que es absorbido por el neutrón, y, al revés, el neutrón emite un mesón de otro género, que es absorbido por el protón. Debido a ese cambio, los protones y neutrones se convierten constantemente el uno en el otro en los núcleos y entre ellos se originan las fuerzas de atracción necesarias. La atracción y la repulsión eléctricas también se deben al intercambio entre las partículas cargadas de cuantos del campo electromagnético. Guiándose por esa idea, la teoría actual de la gravitación considera que la interacción gravitacional se debe al intercambio entre cuerpos de hipotéticos cuantos del campo gravitacional: los gravitones. De ese modo, cualquier fuerza de atracción y repulsión está determinada, en última instancia, por la absorción y radiación de las partículas de cuantos de diversos campos. Esos procesos opuestos son los que condicionan, precisamente, la aparición de sistemas de diverso orden y el incesante autodesarrollo de la materia.

Vemos, por tanto, que muchas oposiciones y contradicciones vigentes en el microcosmos determinan también el proceso de desarrollo de la materia en la escala del cosmos. Dicha ley rige no sólo con respecto a diversas fuerzas, sino también con relación a la propia organización estructural de la materia. La unidad de partículas y antipartículas en el microcosmos ha de realizarse en el universo en la posible coexistencia de antimundos y formas corrientes de materia. Es indudable que dichos contrarios interactúan entre sí y esa interacción debe desempeñar un papel especial en el desarrollo de los sistemas cósmicos. Tal vez la supuesta dilatación de la metagalaxia no sea más que una consecuencia de esa clase de interacción, ocurrida hace varios miles de millones de años.

Las investigaciones futuras demostrarán en qué medida responde esta hipótesis a la realidad, pero es indudable de

todo punto que la unidad de contrarios de diverso género tiene lugar en todo el infinito universo, condicionando su irreversible cambio.

Además, de todas las contradicciones existentes en la naturaleza son las contradicciones *internas* y *externas* las que desempeñan un papel especial. Llamamos internas aquellas conexiones y contradicciones que actúan en los límites del sistema material dado, entre sus elementos integrantes, mientras que las externas expresan las relaciones entre el sistema dado y otros sistemas circundantes. La diferencia entre las contradicciones internas y externas es relativa. Se determina exclusivamente por el carácter de los sistemas. Las contradicciones internas para un sistema dado serán externas para los subsistemas que lo componen, y viceversa.

El papel determinante en el desarrollo de todo sistema pertenece a los nexos y contradicciones internas. Así, los átomos existen como formaciones íntegras gracias tan sólo al carácter especial de las interacciones entre los electrones y el núcleo; las moléculas, gracias a los firmes vínculos entre los átomos, etc. Del mismo modo, todas las propiedades físico-químicas de los cuerpos se determinan, principalmente, por sus conexiones internas, por el carácter de las interacciones entre las micropartículas que los integran. Por esta razón todo sistema íntegro posee una autonomía relativa y se manifiesta como algo único con relación al medio circundante.

Sin embargo, el sistema permanece estable mientras que la energía de las acciones exteriores no supere a la energía de sus vínculos internos. En caso contrario, se produce la contradicción entre la vieja forma de organización del sistema y las acciones dadas. La solución de esa contradicción conduce al cambio de las propiedades del sistema, o bien a la transformación radical de su estructura.

Habitualmente, el desarrollo de todo sistema está determinado tanto por los factores internos como externos, indisolublemente ligados entre sí. Por ejemplo, la superficie de

nuestro planeta se ha formado bajo la influencia de los procesos tectónicos en las profundidades de la Tierra y las radiaciones solares, que provocan numerosos fenómenos en la atmósfera. En el desarrollo de los microbjetos, de los cuerpos macroscópicos, de los organismos vivos y de los fenómenos sociales también tiene lugar la unidad de los factores internos y externos. Con la particularidad de que las contradicciones y los nexos internos constituyen siempre la fuente del autodesarrollo del sistema, mientras que los nexos exteriores son la condición para que se realice esa tendencia interna, para que de posible se convierta en real. Por ejemplo, en las partículas elementales, los átomos y las moléculas está implícita como posibilidad la tendencia a la ilimitada complicación de las conexiones y formas del movimiento, a la formación de especies altamente organizadas de la materia, incluidos los seres vivos. Sin embargo, esta posibilidad actúa en el caso únicamente de que existan condiciones físico-químicas propicias, necesarias para el surgimiento de complejas combinaciones y de la sustancia viva. Cuando esas condiciones no existen, por ejemplo en las estrellas o en las nebulosas difusas, esa tendencia no pasa de ser una posibilidad.

El materialismo dialéctico afirma que el proceso del desarrollo en el mundo material está condicionado por la acción de contradicciones tales como la lucha entre lo viejo y lo nuevo, lo que nace y muere. ¿Existe esa lucha en la naturaleza inorgánica y, en caso afirmativo, en qué formas se manifiesta? Antes de responder a esa pregunta debemos explicar en qué sentido se emplean los conceptos de nuevo y viejo.

Es evidente que por nuevo se entiende no sólo aquello que surge después de algo en el tiempo, sino, en primer lugar, lo progresivo y superior, más perfecto que lo viejo en cierto sentido. El concepto de progresivo y perfecto tiene un contenido distinto en las diversas regiones del fenómeno.

En la sociedad será progresivo aquello que se deduce

necesariamente de las leyes del desarrollo del modo de producción y de las relaciones sociales, lo que corresponde en mayor grado a los intereses de la inmensa mayoría de los miembros de la sociedad, y que es superior y más perfecto, en cierto sentido, a lo viejo. Lo nuevo que posea esos rasgos es insuperable, ya que tarde o temprano prevalecerá sobre lo viejo.

En la naturaleza orgánica el criterio de lo progresivo es distinto. Tendrán una organización más alta las especies más diferenciadas, las que posean una capacidad más perfecta de reflejar la realidad circundante, cuyas funciones vitales sean más complicadas y que correspondan en mejor grado a las condiciones de su existencia.

Por lo que se refiere a la naturaleza inorgánica, el concepto del progreso puede aplicarse tan sólo a la complicación de la estructura de la materia y al paso de la materia inorgánica a la viva, mientras que las restantes transformaciones de la materia en el curso del desarrollo del sistema no caracterizan dicho concepto.

En los fenómenos sociales y en algunos biológicos tiene lugar la lucha entre lo viejo y lo nuevo, entre los fenómenos regresivos y progresivos. Esa lucha constituye en ellos una de las fuentes más importantes del desarrollo.

Es cierto que esa lucha, por sí misma, tiene carácter contradictorio, ya que no sólo condiciona, sino que frena en cierto modo el desarrollo. La resistencia de lo viejo obstaculiza el triunfo de lo nuevo, y si lo nuevo es todavía débil y poco perfecto, puede perecer bajo la presión de lo viejo, debido a lo cual todo el desarrollo se detiene durante mucho tiempo. Es cierto que en el curso de esa lucha lo nuevo se va fortaleciendo poco a poco, se perfecciona y, al fin y al cabo, triunfa sobre lo viejo. Sin embargo, la resistencia de lo viejo constituye un factor que frena el desarrollo. Esto demuestra que la idea de la lucha de los contrarios no sólo es correcta con respecto al contenido interno del desarrollo, sino también con relación a las causas que lo condicionan.

En los fenómenos sociales la victoria de lo nuevo sobre lo viejo determina su liquidación, con la particularidad de que los métodos de su eliminación dependen de si eran o no antagónicas las contradicciones entre lo viejo y lo nuevo. En el campo de la naturaleza orgánica es igualmente posible el desplazamiento de especies viejas, con su consiguiente extinción, por otras nuevas más progresivas. Pero suele ocurrir que las especies viejas continúen viviendo a la par que las nuevas, siempre que no se excluyan recíprocamente. Así, hoy día, continúan desarrollándose numerosas especies vegetales y animales que datan de cientos de millones de años atrás. Entre ellas y las formas más perfectas no hay, en la mayoría de los casos, ninguna lucha. Debido a ello, el desarrollo no se manifiesta como una transformación rigurosa de lo simple a lo complejo y altamente organizado, sino como un proceso donde a la vez que la línea ascendente hay muchas direcciones mutuamente paralelas que, al parecer, se hallan en diferentes niveles de complejidad.

Esta ley se revela con mayor claridad en la naturaleza inorgánica donde se manifiesta, por regla general, en forma de interacción de fuerzas, aspectos y tendencias opuestas de los objetos materiales. Por esto, en ella no se produce la lucha, sino la interacción de lo nuevo con lo viejo. La aparición de formas nuevas más complejas de la materia y el movimiento no conduce a la desaparición de las viejas. Estas últimas continúan existiendo paralelamente y se desarrollan de acuerdo con sus leyes. Además, constituyen la base material para el desarrollo de formas más perfectas y, frecuentemente, se incorporan a ellas con distinto aspecto. Así, por ejemplo, las partículas elementales y los átomos no desaparecen al formarse las complejas combinaciones químicas, sino que las integran como sus elementos componentes. Al desarrollarse la vida en la Tierra, los cuerpos inorgánicos no desaparecen, sino que continúan existiendo paralelamente con ella, constituyendo el medio habitable y el material de construcción para los seres vivos. En general, en todos los

casos de desarrollo de la materia inorgánica no hay ninguna lucha entre lo viejo y lo nuevo, aunque existe la interacción entre ambos.

Así, pues, la lucha de lo viejo con lo nuevo no puede considerarse como fuente de desarrollo únicamente y mucho menos como la fuerza motriz universal de desarrollo, imperante en todo el mundo material. Al parecer, en general no existen contrarios que condicionen en grado igual el desarrollo, tanto en la naturaleza inorgánica como en la naturaleza viva y la sociedad. Para cada uno de esos grupos de fenómenos existen sus propias leyes de desarrollo y, por consiguiente, tienen sus propias oposiciones y contradicciones específicas, distintas para cada grupo. Lo común, en este caso, es tan sólo el hecho de la unidad y la interacción de los contrarios, pero la manifestación concreta de dicha unidad será diferente en cada caso.

Además, la interacción o la lucha de los contrarios constituye la fuente de desarrollo de *cada sistema material concreto*. Pero sería erróneo afirmar, como se hace a veces, que la lucha de los contrarios es la *fuente del automovimiento de toda la materia en su conjunto*. En general, no puede plantearse la cuestión de la fuente de movimiento para la materia como sustancia de todos los fenómenos, en el caso de atenerse consecuentemente a las concepciones del materialismo dialéctico. El movimiento es un atributo importantísimo de la materia, es su modo de existencia. Puesto que la materia existe, se halla en movimiento, en interacción, y para este movimiento no puede haber ninguna fuente. Pero si consideramos que la lucha de los contrarios constituye la fuente del movimiento, surge en el acto la pregunta: ¿cuál es, pues, la fuente de la lucha de los contrarios? La única respuesta que cabe dar es la siguiente: la fuente de esa lucha es el movimiento, y de este modo caemos en un círculo vicioso.

La afirmación de que la lucha de los contrarios es la fuente del movimiento resulta contradictoria también en el

siguiente sentido. En la naturaleza la propia lucha se manifiesta en forma de interacción de los contrarios. Pero todo proceso de interacción no es otra cosa que movimiento de uno u otro género. Por consiguiente, llegamos a la tautología de que "el movimiento es la fuente del movimiento".

La lucha o la interacción de los contrarios no constituye la fuente, sino el contenido interno de todo movimiento. Eso significa que todo movimiento y todo cambio se basan en la unidad de los contrarios de uno u otro género: de lo continuo y lo discontinuo, lo interno y lo externo, de la atracción y la repulsión, de lo finito e infinito, etc.

Pero la interacción de los contrarios será la fuente de desarrollo de *todo sistema concreto*. Los sistemas de ese género siempre tienen causas determinadas para su aparición y, por consiguiente, con relación a ellos, puede hablarse de causas o de la fuente de su desarrollo. Esa fuente es, precisamente, la interacción de los contrarios más arriba examinados.

Como el desarrollo de todo sistema comprende la fase ascendente, relacionada con la complicación de la estructura y de las formas del movimiento de los objetos materiales, y la fase descendente, que conduce a la desintegración del sistema en sus elementos componentes, cabe decir que, objetivamente, existen por lo menos tres grupos fundamentales de oposiciones y contradicciones: *1)* los que caracterizan todo movimiento y existencia de la materia, al margen del proceso de la complicación o desintegración de los sistemas; *2)* los que condicionan la complicación de las formas de la materia y el movimiento en el desarrollo, y *3)* los que producen la degradación y la desintegración de los sistemas.

Se han de incluir en el primer grupo, ante todo, las contradicciones entre la estabilidad relativa y la variabilidad, entre lo finito y lo infinito, lo continuo y lo discontinuo, que son inherentes a la materia en todos sus estados. Es evidente que en la naturaleza existen también otras contradicciones de ese género.

Se incluye en el segundo grupo un número muy elevado de contradicciones, que constituyen la fuente del desarrollo en la naturaleza inorgánica, la naturaleza viva y la sociedad. Todas ellas se diferencian sustancialmente entre sí. De entre las contradicciones de la naturaleza inorgánica debemos mencionar, ante todo, aquellas que expresan la relación entre la atracción y la repulsión, la absorción y la radiación, la asociación y la disociación de los átomos y las moléculas, etcétera.

Las contradicciones del tercer grupo son de extraordinaria diversidad, ya que la degradación y la desintegración de los sistemas en cada caso particular están condicionadas por diversas causas. Existen dos clases fundamentales de desintegración de sistemas: forzosa y espontánea. La desintegración forzosa es la que se produce por algunas causas exteriores. En los sistemas mecánicos la desintegración se produce cuando la energía de la acción exterior supera la energía de las conexiones internas. En los no mecánicos —biológicos y sociales— la desintegración está determinada por causas mucho más complejas, diferentes en cada caso concreto.

La desintegración espontánea es la determinada por causas internas del propio sistema. La produce la contradicción entre el nuevo tipo de conexiones internas, que se han originado en el sistema, y la vieja forma de su organización.

Los tres grupos de contradicciones señalados están indisolublemente unidos entre sí. Las contradicciones del primer grupo, que caracterizan la existencia general de la materia, constituyen la base para la aparición y el desarrollo de contradicciones del segundo y tercer grupo. Algunas contradicciones del primer grupo, como, por ejemplo, lo finito y lo infinito, lo continuo y lo discontinuo, contribuyen incluso al desarrollo de los diversos sistemas, y de ese modo se adhieren directamente a las contradicciones del segundo grupo.

Existen, asimismo, contradicciones *comunes por la forma*, pero *distintas por su contenido*. Así, por ejemplo, es característica de todos los estados de la materia la contradicción entre los factores internos y externos. Pero la correlación entre lo interno y lo externo puede, al mismo tiempo, condicionar tanto el desarrollo como la desintegración de los sistemas, en dependencia del contenido de los factores dados.

Al estudiar las formas de las contradicciones, surgen, involuntariamente, las siguientes preguntas: ¿Se llega en el desarrollo a la solución de algunas contradicciones? ¿Puede llegarse a un estado en el que las contradicciones fundamentales del sistema dado queden resueltas?

Es evidente que las contradicciones del primer grupo no pueden resolverse por principio, ya que serán inherentes a los nuevos estados de materia que se originen. Por lo que se refiere a las contradicciones del segundo y tercer grupo, que determinan el desarrollo ascendente y la desintegración de los sistemas, algunas de ellas se solucionan con el tiempo. En particular, todas las contradicciones que provocan la desintegración se solucionan después que el sistema se convierte en otras formas de la materia, completamente distintas, ya que entonces carecen de base para existir. Sin embargo, el sistema de nueva creación se caracterizará por nuevas contradicciones, que habrá que solucionar de nuevo. Es totalmente imposible la superación definitiva de todas las contradicciones, ya que *todo desarrollo no es solamente la solución, sino también el surgimiento de contradicciones nuevas por principio*. Gracias a ello, el desarrollo de la materia constituye un proceso indestructible, inherente a todos los estados de la misma.

La posibilidad de solucionar las contradicciones aclara el problema de las interrelaciones de los contrarios. De aquí se deduce que los contrarios no son absolutamente irreconciliables entre sí, sino que pueden, en determinadas condiciones, apagarse mutuamente o bien convertirse en formas

cualitativas distintas. Los objetos y fenómenos opuestos no se excluyen absolutamente, sino en algunas de sus propiedades y tendencias. Por ejemplo, las partículas y las antipartículas se oponen recíprocamente unas a otras sólo por el signo de la carga eléctrica y del momento magnético, mientras que otras propiedades suyas son iguales. Durante la interacción de las partículas y las antipartículas esas propiedades opuestas se "apagan" unas a otras, y resultado de ello es la aparición de microobjetos completamente nuevos. En relación con eso debemos detenernos brevemente en el problema de la "identidad" y la penetración recíproca de los contrarios.

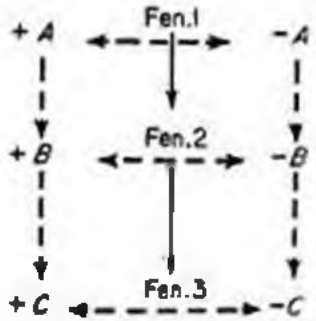
Los clásicos del marxismo han indicado en más de una ocasión que la unidad de los contrarios se produce objetivamente y la calificaban a veces de identidad; decían que es "posible el desarrollo en *su* contrario",[14] es decir, transformación de los contrarios, el paso de uno a otro. ¿En qué sentido han de comprenderse estas tesis?

Es evidente que la tesis de la "identidad" de los contrarios no puede considerarse en el sentido de que son efectivamente idénticos entre sí. Como lo indica la propia palabra "contrarios", estos fenómenos se diferencian radicalmente entre sí por alguna de sus propiedades. Por ello el concepto de "identidad" de los contrarios no es afortunado. Se trata de un concepto heredado de la filosofía hegeliana y puede inducir a error. Por este motivo es más correcto hablar de la *unidad y la penetración recíproca de los contrarios*. Esta penetración recíproca tiene lugar, efectivamente, en todos los sistemas materiales: la estabilidad del cuerpo presupone su variabilidad; en un objeto material finito está potencialmente contenido lo infinito; una multitud de elementos discretos, directamente adheridos entre sí, constituyen una sustancia continua; las conexiones internas de un sistema son asimismo externas para sus elementos componentes, etc.

[14] V. Lenin, *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, ed. rusa, t. 38, pág. 258

Por lo que se refiere al tránsito recíproco de los contrarios, hemos de decir lo siguiente. Si existen dos objetos o fenómenos que tengan propiedades opuestas $+A$ y $-A$, la tesis del desarrollo en su contrario no puede comprenderse en el sentido de que $+A$ se convierte en $-A$, y viceversa. Se ha de comprender de otro modo: $+A$ y $-A$, al interactuar, se convierten en un fenómeno nuevo por principio con nuevos contrarios inherentes a él: $+B$ y $-B$. Estos últimos difieren de raíz de los contrarios antes existentes y vienen a ser como polares con relación a ellos. Resultado de ello es que $+A$ se convierte en $+B$ y $-A$ en $-B$.

Con el tiempo, $+B$ y $-B$ se convierten, a su vez, en $+C$ y $-C$, etc. De este modo el curso general del desarrollo puede representarse con el siguiente esquema:



El fenómeno 1: $+A$ y $-A$ no se convierten el uno en el otro.

Pero el fenómeno 1 se transforma en el fenómeno 2. Le corresponden los contrarios $+B$ y $-B$, pero tampoco transmutan recíprocamente.

El fenómeno 2 se convierte en el fenómeno 3 con los contrarios $+C$ y $-C$, etc. Además, $+A$, $+B$ y $+C$ guardan una relación de contrarios, lo mismo que $-A$, $-B$ y $-C$.

He aquí unos ejemplos concretos para el esquema dado. Supongamos que el electrón y el positrón u otros pares de

partículas interactúan entre sí. El electrón no se convierte directamente en positrón, y viceversa, pero ambos se transforman en cuantos-gamma, en cuya estructura hay contrarios completamente distintos.

En la sociedad, las clases antagónicas no se convierten la una en la otra, pero la solución de las contradicciones entre ellas conduce a la formación de un régimen social nuevo por principio, cuyas contradicciones difieren de raíz de las viejas. En general, la solución de las contradicciones en fenómenos donde hay aspectos opuestos no significa que se conviertan recíprocamente unos en otros, sino que el fenómeno dado se transforma en otro completamente distinto con sus propias e inherentes contradicciones nuevas de principio.

CAPITULO III

TRANSITO RECIPROCO DE LOS CAMBIOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS EN EL DESARROLLO

1. Determinación cualitativa y cuantitativa de los objetos.

El proceso objetivo de desarrollo en la naturaleza y en la sociedad está supeditado a la ley del tránsito recíproco de los cambios cuantitativos y cualitativos, que está indisolublemente ligado a otras leyes dialécticas. Dicha ley afirma que los *cambios cuantitativos en los estados y propiedades de los objetos y fenómenos materiales conducen inevitablemente, en el curso del desarrollo y con el tiempo, a cambios cualitativos radicales, y que la nueva cualidad originada suscita nuevos cambios cuantitativos.*

Antes de pasar a explicar el contenido de la ley dada, examinaremos, primeramente, los conceptos de cualidad, cantidad y medida, que en este caso son fundamentales.

A todos los objetos y fenómenos materiales les corresponde una determinación cuantitativa y otra cualitativa, que expresarán los rasgos y leyes fundamentales de su existencia. *La cualidad es la determinación esencial interna del objeto, que lo distingue de otros objetos, y sin la cual dejaría de ser lo que es.* Por determinación interna entendemos el conjunto de las propiedades más importantes del objeto en su indisoluble unidad. La propiedad es siempre más elemental que la cualidad; caracteriza la cualidad por una de sus facetas. Objetivamente, la propiedad expresa cierta peculiaridad del objeto y representa el resultado de sus nexos

internos y externos. Toda propiedad está condicionada tanto por los vínculos internos del objeto o su estructura como por los nexos externos entre el cuerpo dado y otros cuerpos circundantes. Una determinada multitud de propiedades, orgánicamente ligadas entre sí en un todo único, constituyen la cualidad del objeto. Los objetos que poseen una cualidad pueden distinguirse entre sí en el sentido cuantitativo, gracias a lo cual cada cualidad tiene numerosas gradaciones cuantitativas.

La cantidad es el grado objetivo de diferencia entre los objetos y los fenómenos que tienen propiedades homogéneas. Expresa la determinación de los objetos desde el ángulo de sus dimensiones espaciales, ritmo de variabilidad, diversas características numéricas que se refieren a las propiedades concretas de los objetos y fenómenos materiales. Para hallar la determinación cuantitativa de un objeto es preciso compararlo por sus propiedades *homogéneas* con otro objeto, tomado como muestra o magnitud inicial para la medición. Por ejemplo, para determinar el peso de un cuerpo se ha de comparar su masa con la masa de la muestra: un gramo, un kilo, etc.

Una y la misma cantidad puede ser inherente a fenómenos que poseen las más diversas cualidades, debido a lo cual la cantidad expresa algo general en los fenómenos. Esta particularidad se debe a que la cantidad caracteriza la relación entre propiedades homogéneas de los objetos y fenómenos más diversos, independientemente de cómo sean esas propiedades.

La relación entre las propiedades puede expresarse por medio de cierto número. El número no es lo mismo que la cantidad, aunque está íntimamente vinculado a ella. La determinación cuantitativa no presupone el número por sí mismo, sino el número referido a una propiedad del objeto o a los objetos mismos. Por ejemplo, si damos la cifra de 100, esto no significará nada. Pero si esa cifra expresa la cantidad de gramos en el cuerpo o su longitud en milímetros, tendre-

mos ya cierta característica cuantitativa del cuerpo. La expresión numérica de la cantidad es relativa, pues depende de la unidad de medida adoptada. Así, la longitud de los cuerpos puede expresarse en metros, centímetros, milímetros, etc., obteniéndose cada vez diversos números. Sin embargo, si las unidades dadas de medida se coordinan entre sí, conseguiremos obtener una característica cuantitativa del objeto claramente determinada.

La determinación cuantitativa de los cuerpos exige siempre su recíproca comparación y, por consiguiente, los correspondientes patrones o magnitudes iniciales para la medida. Estos patrones y magnitudes se han encontrado para muchos casos, por lo cual los fenómenos correspondientes se pueden describir cuantitativamente de un modo exacto.

Pero hay otros muchos fenómenos que carecen de patrones cuantitativos exactos. Esto se refiere, en particular, a muchos fenómenos biológicos y sociales; por ejemplo, a diversas peculiaridades físicas y espirituales de los hombres: sus cualidades, defectos, sentimientos, el carácter de la percepción humana de los fenómenos exteriores, etc. Hoy día todos estos fenómenos se describen en un aspecto cualitativo general; es evidente, sin embargo, que también corresponde a esos fenómenos cierta determinación cuantitativa objetiva. Prueba de ello es que siempre resulta posible comparar dichos fenómenos y emitir juicios precisos sobre ellos. En el futuro, con el progreso de la ciencia, irán revelándose, poco a poco, cada vez mayor cantidad de aspectos cuantitativos en toda suerte de fenómenos, incluso en los más complejos fenómenos sociales. En consonancia con ello se irá ampliando la posibilidad de aplicar los métodos matemáticos.

En principio, muchos fenómenos se prestan a ser descritos sobre la base de las ecuaciones correspondientes de suma complejidad. Entre ellos figuran aquellos cuya relación causal tiene un carácter funcional; es decir, fenómenos con una interdependencia tan constante y estable que el cambio de uno no provoca el cambio arbitrario de otros, sino uno com-

pletamente determinado de acuerdo con la ley del vínculo funcional. Muchos fenómenos biológicos y sociales complejos, que parecen totalmente inaccesibles hoy día a la descripción matemática, incluyen en sí nexos causales funcionales y pueden, en principio, ser descritos matemáticamente. Este tipo de ecuaciones expresará, en su mayor parte, las leyes estadísticas. Se han conseguido ya los primeros éxitos en este sentido, y los métodos estadísticos se utilizan en vasta escala para el estudio de las leyes cuantitativas en el transporte, la producción, el comercio, etc.

Entre los aspectos cuantitativo y cualitativo del fenómeno existe un vínculo indisoluble, que halla expresión en el concepto de medida. Este concepto expresa el hecho de que cualquier cualidad no se asocia a cualquier característica cuantitativa, sino tan sólo a aquellas que son las específicas y determinantes del objeto dado. Si las características cuantitativas del objeto se modifican sin cesar, llegará un momento en que pierda inevitablemente su cualidad inicial. Los metales, por ejemplo, conservan su solidez y duración a lo largo de una gama bastante amplia de temperaturas; pero cuando ésta se hace lo suficientemente elevada, el metal perderá las mencionadas cualidades mecánicas y se fundirá o, incluso, llegará a evaporarse. De este modo, *la medida es determinado intervalo de características o modificaciones cuantitativas dentro de las cuales puede existir la cualidad dada.*

Los puntos de viraje, a partir de los cuales los cambios cuantitativos conducen a cambios radicales, cualitativos, se califican de límites de la medida. En física, los límites de la medida son las diversas constantes que expresan el paso de la sustancia de un estado de agregación a otro; por ejemplo, de los cuerpos sólidos en líquidos (temperatura de fusión), de lo líquido en vapor (temperatura de ebullición), etcétera.

El concepto de medida no sólo es importante aplicado a la cualidad de los cuerpos, sino también a sus propiedades,

cada una de las cuales integra su cualidad. Casi todas las propiedades tienen un valor determinado, es decir, existen dentro de ciertos límites, pasados los cuales se entra en una esfera de fenómenos totalmente distintos, que carecen de las propiedades dadas. Por ejemplo, si disminuimos constantemente los valores cuantitativos de solidez, dureza, elasticidad, conductibilidad de calor, de electricidad, etc., así como de otras propiedades de los cuerpos, perderán todo sentido en una determinada etapa, ya que pasaríamos al mundo de las escalas atómicas, y la mayor parte de esas propiedades no son inherentes a los átomos ni a las partículas elementales. De todas las propiedades de los objetos materiales, sólo las características de espacio y tiempo y las energéticas pueden tener, según parece, todos los valores grandes y pequeños que se quieran, ya que el espacio, el tiempo y el movimiento son las formas universales de existencia de la materia. Todas las demás propiedades corresponden tan sólo a determinadas formas de organización estructural de la materia; no son, por tanto, universales.

La diferencia entre las determinaciones cualitativa y cuantitativa de los objetos es relativa y no puede considerarse absoluta. Lo que se presenta como cualidad en unas relaciones puede reducirse en otras a una multitud de características cuantitativas. Y, por el contrario, los cambios cuantitativos en una esfera de fenómenos pueden ser cualitativos en otra. Por ejemplo, los diversos estados de agregación de una y la misma sustancia se consideran como diversas cualidades (agua, vapor y hielo). Pero con respecto a su estructura química, la sustancia sigue siendo la misma en todos esos estados, y la diferencia entre ellos se determina, principalmente, por la magnitud de la energía de unión entre las moléculas. En el estado líquido la energía de enlace es mucho mayor que en el estado gaseoso, y en los cuerpos sólidos mucho mayor que en los líquidos.

Al ver la transformación de un elemento químico en otro debido a las reacciones nucleares, decimos que una

cualidad se ha convertido en otra. Sin embargo, en el plano de la microestructura de los átomos dichas conversiones se reducen únicamente a cambios cuantitativos en el número, a la distribución recíproca y a la energía de conexión de los protones y los neutrones en los núcleos atómicos. Las partículas elementales, en lo fundamental, continúan siendo las mismas.

De un mismo metal, del acero, pongamos por caso, pueden fundirse los más diversos objetos: piezas de máquinas, estatuas, rafles, artículos de consumo, etc. Todos esos cuerpos representan diversas cualidades. Pero su estructura química será la misma, sus diferencias estarán determinadas únicamente por la magnitud, la forma y el orden de combinación de los elementos de la materia dada.

Vemos, pues, que la cualidad de los objetos es relativa y depende de la *forma interna y externa de organización de los elementos materiales*. La forma de organización, que se manifiesta como una determinación cualitativa en unas relaciones, se reducirá, en otras, a una multitud de características cuantitativas, y viceversa.

El carácter relativo de la cualidad se manifiesta también en lo siguiente: cada objeto, como forma concreta de la materia, posee cierta cualidad, sin la cual dejaría de ser lo que es. Pero la materia que lo compone posee un número infinito de cualidades, pues es inagotable en profundidad. La cualidad que es fundamental para el objeto dado, no será más que uno de los innumerables aspectos de la materia como sustancia. Cada una de las cualidades concretas de la propia materia existe en forma de *posibilidad*. Pero tan pronto como la materia adquiere una forma concreta, la cualidad correspondiente parece sobresalir y se convierte en la cualidad del objeto surgido. Las demás cualidades de la materia existirán en ese objeto potencialmente tan sólo, pero cada una de ellas podrá convertirse en realidad, pasar a primer plano, tan pronto como el objeto en cuestión se convierta en otro y la materia adopte otra forma concreta.

¿Qué diferencia hay, pues, entre la cualidad y la propiedad de la materia? La cualidad está formada por determinado conjunto de propiedades. Sin embargo, no todas las propiedades inherentes a la *materia* del cuerpo en cuestión integran toda cualidad dada, sino cierta parte de ellas. La materia como sustancia es infinita en su estructura y posee una infinita multitud de propiedades; pero toda cualidad está constituida por un número limitado, aunque tal vez muy grande, de propiedades. Si la cantidad general de propiedades, inherentes a la materia, se designa como una multitud de un cierto orden superior, toda cualidad estará constituida por una submultitud de propiedades. Otras submultitudes integrarán otras cualidades. Con la particularidad de que cada cualidad puede agrupar no todas las propiedades que quiera, sino tan sólo aquellas que se encuentran orgánicamente vinculadas entre sí.

Como el número de propiedades de la materia es infinito y cada una de las cualidades está constituida por una cantidad limitada de propiedades, sería igualmente infinito el número de cualidades inherentes a la materia de cualquier cuerpo. Además, cada cualidad expresará la determinación interna del objeto material en algunas de sus conexiones y relaciones.

Examinemos ahora, con mayor detalle, cómo se manifiesta la inagotabilidad cuantitativa y cualitativa de la materia, ya que esto tiene suma importancia para poder comprender el carácter indestructible del desarrollo de la materia en el universo.

La inagotabilidad cualitativa de la materia se expresa en el hecho de que exista en la naturaleza una infinita multitud de formas de organización estructural de la materia, supeditada cada una de ellas a sus propias leyes específicas. En la actualidad se conocen las siguientes formas importantísimas de la materia: partículas elementales y campos, átomos, moléculas, cuerpos macroscópicos y sistemas cósmicos. Los límites del conocimiento moderno se ex-

tienden desde una escala de $7 \cdot 10^{-14}$ *cm* hasta $3 \cdot 10^{21}$ *cm*. Cada una de las formas de organización estructural de la materia que se conocen posee sus propiedades específicas y leyes de desarrollo, que no pueden reducirse a las leyes de otras formas. Existen leyes cualitativamente peculiares en el microcosmos, en el macrocosmos y en escala de los gigantescos sistemas cósmicos.

De aquí se deduce que no hay ningún motivo para extender las leyes y propiedades específicas de determinado grupo de fenómenos a todos los demás procesos o al universo infinito en su conjunto. Semejante extrapolación originará, inevitablemente, graves errores teóricos y conducirá a teorías reaccionarias idealistas, como ha ocurrido, por ejemplo, cuando se aplicó a todo el universo la segunda ley de la termodinámica.

Cada ley concreta de movimiento y desarrollo tiene una esfera de aplicación limitada, y por ello sería incorrecto buscar en todo el universo las formas de desarrollo que se dan en algunas regiones. Eso no significa, claro está, que las formas de organización estructural de la materia estén separadas entre sí por barreras infranqueables. El desarrollo de las micropartículas influye en el desarrollo de los cuerpos macroscópicos y, a través de ellos, también en los sistemas cósmicos. También se produce la influencia inversa, es decir, de las formas del desarrollo en el cosmos sobre el desarrollo del microcosmos. Pero en cada uno de esos niveles de organización estructural de la materia el proceso del desarrollo transcurre a su modo y conduce a resultados cualitativos distintos.

La infinitud cuantitativa de la materia tiene, a su vez, diversas manifestaciones. Se expresa, primero, en el hecho de que a la materia, como sustancia, le corresponde una infinita multitud de propiedades y características cuantitativas, de lo cual se ha hablado ya antes. Y segundo, se manifiesta en la infinitud de la distribución espacial de la materia en la escala del cosmos y, en profundidad, en su mi-

croestructura. Por grandes que sean las dimensiones del sistema material, siempre habrá un sistema o un conjunto de cuerpos de orden mayor que incluya en sí el sistema dado como su elemento integrante. Se trata de una tesis de principio para comprender la infinitud del universo, y todo juicio opuesto carece de consistencia lógica.

La suposición de que no existe un conjunto todavía mayor de cuerpos conduce a contradicciones insuperables. Significa el establecimiento de ciertos límites para la distribución espacial de la materia. Pero el establecer un límite para algo presupone, por su propio sentido, la posibilidad de salir de ese límite, el tránsito a algo más general. Sin embargo, cuando resulta imposible señalar algo más general, no tiene sentido hablar de la existencia del límite, ya que no se manifestará en nada. El tránsito a algo más general excluye por principio la posibilidad de limitar la materia en el espacio y demuestra su infinitud. De este modo no podemos hablar de la limitación de la materia en el espacio sin llegar a contradicciones lógicas insolubles. Tan sólo el reconocimiento de la infinitud de la materia en el espacio y el tiempo resulta compatible con una concepción consecuentemente racional del mundo.

La infinitud cuantitativa de la materia en la escala del cosmos se complementa necesariamente con su infinitud en la profundidad, en su organización estructural. Ambas infinitudes están indisolublemente ligadas entre sí; vienen a ser el reflejo la una de la otra. Esta unión puede ser ilustrada en la siguiente forma. Imaginémonos que todo el volumen infinito del universo está subdividido en numerosos volúmenes menores, cada uno de los cuales, por ejemplo, es igual a 1 cm^3. Obtendremos una multitud infinita de centímetros cúbicos. Tomemos ahora un centímetro cúbico y tratemos de subdividirlo en volúmenes menores. En 1 cm^3 *habrá, asimismo, muchos* elementos de volumen, como centímetros cúbicos en todo el universo infinito. Para ello podemos hacer que a cada centímetro cúbico del volumen

general del cosmos le corresponda, como valor recíproco, cierto elemento del volumen de 1 cm^3, con la particularidad de que un elemento así se encontrará siempre, por grandes que sean las dimensiones de la región del universo que se compara. Para ello no habrá más que disminuir infinitamente los elementos en el volumen pequeño. De este modo, cada cuerpo puede subdividirse en una ilimitada multitud de elementos de la materia, independientemente de cuáles puedan ser sus propiedades.

Claro está que semejante división infinita de la materia no es más que una operación mental. La estrutura real de la materia es incomparablemente más compleja que cualquiera de sus esquemas matemáticos, ya que la materia es inagotable, también, en el sentido cualitativo, en el sentido de la multiformidad de las propiedades y leyes inherentes a las diversas formas de su organización estructural. La existencia en cada cuerpo de una infinita multitud de elementos de la materia tiene importancia de principio para comprender su determinación cuantitativa. De aquí se deduce que no puede señalarse una sola propiedad que exprese plenamente la cantidad general de materia en los cuerpos, de la misma manera que no existe una propiedad que denote plenamente su determinación cualitativa. Tanto la determinación cuantitativa como la cualitativa de la materia no se expresan íntegramente en una propiedad cualquiera de la misma, sino en *todo* el conjunto de las infinitamente diversas propiedades de *todas* las clases de materia existentes en el espacio dado.

Esta conclusión se diferencia radicalmente de la opinión que sobre la materia imperaba en la física clásica y en toda la filosofía anterior al materialismo dialéctico. En la física clásica se admitía que en cada cuerpo existía objetivamente una cantidad finita de materia y la masa se consideraba como la medida de esa cantidad. Esta concepción se basaba lógicamente en la idea de que la materia era un conjunto de átomos indivisibles y sin estructura. Se consideraba que

la determinación del número de átomos en el cuerpo permite conocer la cantidad total de materia contenida en él, ya que aparte de los átomos no existe ninguna otra partícula última de la materia. Como el número de átomos es proporcional a la masa del cuerpo, la masa viene a ser la medida de la cantidad de materia.

A la luz de las nuevas concepciones de la materia, semejantes ideas no pueden considerarse como correctas. Incluso si consiguiéramos calcular el número exacto de átomos de un cuerpo no llegaríamos a conocer la cantidad exacta de su materia, pues no sabemos cuánta materia está contenida en un átomo. No hay que olvidar que el propio átomo posee una estructura inagotablemente compleja y que existe en él una infinita multitud de otros elementos de la materia con propiedades completamente distintas.

La cantidad total de materia en un cuerpo cualquiera podría determinarse si se desalojare toda la materia del volumen del espacio ocupado por el cuerpo dado. Mas esa operación es irrealizable por principio.

Como la materia es inagotable, en cualquier microobjeto, átomo o electrón hay un número tan infinito de elementos de la materia como en el globo terráqueo o en toda la galaxia. Esto puede parecer completamente increíble, ya que la masa del electrón equivale a $9 \cdot 10^{-28}$ *g*, mientras que la masa de la Tierra es igual a $6 \cdot 10^{27}$ *g*, o sea que es en 10^{54} veces mayor. Sin embargo, no se trata aquí de la igualdad de masas (que, como es natural, no existe), sino de la equivalencia de una multitud infinita de elementos de la materia en el electrón y en el globo terráqueo.

Por lo que se refiere a la cantidad de materia, ésta, en general, no puede expresarse plenamente en una sola propiedad, al igual que ninguna propiedad puede expresar totalmente la determinación cualitativa de la materia como sustancia. La plena determinación cuantitativa y cualitativa de la materia puede expresarse mediante el conjunto de *propiedades de todas las clases de materia existentes en el volu-*

men dado. Como el conocimiento de todas las propiedades de la materia constituye un proceso infinito, así también será infinito el conocimiento de la determinación cuantitativa y cualitativa de la materia.

Vemos, pues, que es imposible aplicar a todo el conjunto de la materia las características cuantitativas y cualitativas inherentes a ciertas clases de ella. De acuerdo con esto, no pueden considerarse absolutas y universales las formas concretas de desarrollo que se encuentran en una esfera limitada de fenómenos. Estas formas no representan más que eslabones sueltos del infinito e inagotable proceso de desarrollo de la naturaleza.

Examinemos, pues, concretamente, la relación que hay entre los aspectos cuantitativo y cualitativo de los fenómenos en el proceso del desarrollo.

2. Tránsito de los cambios cuantitativos a cualitativos.

Durante el desarrollo de todos los fenómenos del mundo material los cambios cuantitativos que se producen en sus propiedades abocan necesariamente, con el paso del tiempo, a radicales transformaciones cualitativas. Esta ley tiene carácter universal y rige en todos los niveles de la organización estructural de la materia.

Desde el punto de vista del materialismo dialéctico, las múltiples cualidades de los objetos son resultado de un desarrollo prolongado y sujeto a leyes de la materia, cada estado sucesivo de la cual se diferencia esencialmente del anterior, ya que durante el desarrollo se originan en los objetos materiales propiedades y vínculos causales nuevos por principio.

Las propiedades de los cuerpos macroscópicos no pueden identificarse con las propiedades de los microfenómenos. Las micropartículas poseen algunas propiedades tan sólo

de los cuerpos macroscópicos: masa, carga eléctrica y momento magnético. Otras propiedades de esas partículas, el espín, la pertenencia a un determinado tipo de estadística, la paridad, las cargas mesónicas, etc., son específicamente cuánticas y no tienen analogías en el macrocosmos.

Al agruparse las partículas en sistemas de orden mayor, sus propiedades se forman de diversos modos. Algunas se suman y se conservan en el sistema de nueva formación. Esa suma *aditiva* se produce en el caso de la masa, la carga eléctrica y el momento magnético, gracias a lo cual esas propiedades pasan a ser inherentes a los cuerpos macroscópicos. Por lo que se refiere a otras propiedades, específicamente cuánticas, éstas, al asociarse las partículas en sistemas macroscópicos, *no se suman aditivamente;* es decir, el resultado de esa suma no es igual a la simple suma algebraica de sus propiedades. Además, diríase que las propiedades, a veces, se anulan recíprocamente unas a otras, en virtud de lo cual pierden su valor en la región del macrocosmos. Pero en su lugar surgen numerosas propiedades nuevas del conjunto estadístico, antes totalmente desconocidas por las partículas aisladas. Gracias a la suma no aditiva de las propiedades, los cambios cuantitativos se transforman en cualitativos y se produce el tránsito, en forma de salto, a un nuevo estado.

Las propiedades de un sistema se diferencian siempre y de modo esencial de las propiedades de sus elementos componentes. Podemos descomponer mentalmente cualquier cuerpo en sus micropartículas integrantes, tomar en consideración las propiedades de cada partícula y establecer para ellas las ecuaciones correspondientes. Pero si partimos de las propiedades de cada partícula por separado, no comprenderemos las peculiaridades del cuerpo en su conjunto, ya que en las ecuaciones para las partículas no existen simplemente los parámetros que caracterizan las propiedades de los cuerpos macroscópicos y por muchas ecuaciones que se resuelvan estos parámetros no surgen. Sólo cuando las par-

tículas se asocian en conjuntos estadísticos aparecen las correspondientes propiedades que caracterizan un sistema completamente nuevo. Gracias, precisamente, al salto cualitativo se originan en los cuerpos macroscópicos propiedades como la elasticidad, conductibilidad de calor, capacidad para determinadas reacciones químicas y diversas propiedades de los organismos vivos. Por eso la ecuación que hubiera podido formularse para describir esos fenómenos no se referiría a ciertas micropartículas, sino a sistemas macroscópicos enteros.

La ley del tránsito de los cambios cuantitativos a cualitativos no sólo permite explicar el origen de las cualidades, sino comprender también las causas del desarrollo eterno de la materia en el cosmos.

Durante el desarrollo de todas las estrellas tiene lugar la radiación por las mismas de materia y energía, que es absorbida en lo fundamental por partículas de la sustancia y cuantos del campo electromagnético. Con el tiempo, los torrentes gaseosos y las partículas de la sustancia vuelven a asociarse en nebulosas difusas, que absorben la radiación electromagnética. Si la masa y la densidad de la nebulosa son suficientemente grandes se inicia la contracción gravitacional del sistema. En el curso de ese proceso, la energía de las interacciones gravitacionales se transforma en térmica, y cuando la temperatura en las profundidades del sistema alcanza varios millones de grados empieza una potente reacción termonuclear. La masa crítica mínima para el comienzo de las reacciones termonucleares es igual para el hidrógeno a 0.05-0,1 de la masa del Sol, aproximadamente. De este modo, los cambios cuantitativos en la masa del sistema conducen a una sensible modificación cualitativa de su estado, a la transformación de la nebulosa fría en estrella y a la reanudación de un nuevo ciclo de desarrollo de la materia.

Gracias a la acción de la ley del tránsito de los cambios cuantitativos a cualitativos (junto con otras leyes

dialécticas), el desarrollo de la materia en el universo constituye un proceso eterno e ininterrumpido.

La ley que examinamos condiciona la complicación incesante de las formas de la materia y el movimiento. La formación de elementos químicos en las profundidades de las estrellas se debe a la asociación de protones y neutrones en núcleos atómicos. Las modificaciones de la cantidad de nucleones en el núcleo, así como de la energía de sus recíprocas conexiones, conduce a la transformación de un elemento químico en otro. De un modo análogo, todos los cambios cualitativos de las combinaciones químicas se determinan por la modificación del número de átomos en las moléculas, por la redistribución de los nexos entre ellas y la reconstrucción de las capas electrónicas de los átomos y las moléculas.

El desarrollo de la materia en la naturaleza transcurre como una unidad de cambios cuantitativos y cualitativos. El aumento cuantitativo de las partículas elementales en los átomos no puede continuar ilimitadamente, sino que tiene cierto límite superior. Esto no significa, empero, que termine allí el desarrollo de la materia. En el proceso de desarrollo de los átomos se produce un salto, relacionado con la formación de moléculas, y de este modo la complicación de la materia continúa, pero en otra esfera de fenómenos. Las moléculas pueden tener muchos más átomos que partículas elementales hay en los átomos, mas tampoco en ellas puede aumentar ilimitadamente el número de los átomos. Sin embargo, mucho antes de que las posibilidades de complicación de las moléculas se agoten, el desarrollo continúa ya en la región de los fenómenos macroscópicos, donde, en el curso de evolución de la sustancia viva, se van formando formas orgánicas cada vez más complejas y se perfecciona la capacidad de reflejar.

Debido a la acción de la ley del tránsito de los cambios cuantitativos a cualitativos, *durante el proceso de desarrollo de la materia y la estructuración de formas materiales cada*

vez más complejas y altamente organizadas, aumenta constantemente la diversidad cualitativa de los fenómenos.

Entre las partículas elementales conocidas hasta ahora sólo hay algunas variedades estables. Entre los átomos, el número de variedades estables es mucho mayor. En la naturaleza, por el contrario, existen decenas de miles de combinaciones químicas estables y sus correspondientes variedades de moléculas, sin contar la enorme cantidad de combinaciones que el hombre ha sintetizado artificialmente. En la naturaleza orgánica aumenta la diversidad cualitativa de los fenómenos. Hoy día se conocen más de trescientas mil especies vegetales y más de un millón de especies animales, con la particularidad de que cada especie representa una cualidad especial.

Las formas de transición de la vieja cualidad a la nueva son múltiples; dependen de las peculiaridades internas de los fenómenos y de las condiciones externas en que se desenvuelven. El tránsito de la vieja cualidad a la nueva está relacionado con el salto o la solución de la continuidad.

El *salto* representa una fase de transformación radical del estado cualitativo, cuando las nuevas condiciones y los nexos internos del sistema se hacen incompatibles con la vieja forma de su estructura y esta última es demolida. El salto tiene lugar en la región del límite de la medida, donde las nuevas características cuantitativas ya no pueden existir en el marco de la cualidad anterior y provocan la aparición de una cualidad nueva. La fase que representa el salto puede tener diversa extensión en el tiempo. En unos casos el salto se produce con relativa rapidez y súbitamente; en otras, de un modo gradual y lento, descomponiéndose en numerosos cambios cualitativos o saltos de escala menor,

Los conceptos de salto "rápido" o "lento" son relativos, ya que no tienen sentido propio, sino con relación únicamente al tiempo de existencia del estado precedente. Es decir, que si el período del paso radical de la vieja cualidad a la nueva es relativamente pequeño en comparación con

el tiempo del estado fundamental anterior, el salto será rápido; en caso contrario será lento. La magnitud absoluta del tiempo para dicha comparación no tiene valor por principio. Así, el proceso de humanización del mono parece extraordinariamente lento en comparación con el ritmo de la vida moderna, ya que tardó en realizarse centenares de miles de años. Sin embargo, en el proceso evolutivo de la naturaleza orgánica fue un salto relativamente rápido, ya que la fase anterior de existencia de los antepasados del hombre y de acumulación de las premisas necesarias para la transformación del mono en hombre ha durado, al parecer, decenas de millones de años.

Por otra parte, algunas reacciones nucleares que se verifican en fracciones de millonésima de segundo nos parecen muy rápidas. Sin embargo, esas mismas transformaciones cualitativas pueden resultar lentas si se comparan con los breves procesos o estados inestables del núcleo que constituyeron su fase previa y las provocaron directamente.

La diversidad de las formas de tránsito de la vieja cualidad a la nueva no se revela solamente en la diferencia de sus extensiones en el tiempo, sino también en otras relaciones. En unos casos antecede al salto una acumulación relativamente larga de cambios cuantitativos, y el propio salto se produce después que las nuevas características cuantitativas se hacen incompatibles con la vieja forma organizativa del sistema. Pero en otros, los cambios cuantitativos producen *de inmediato* el paso a la nueva cualidad, sin una acumulación anterior de esos cambios. Por ejemplo, si el núcleo atómico absorbe o emite un protón, esto determina su inmediata conversión en núcleo de un elemento cualitativamente distinto, sin ninguna acumulación cuantitativa previa. De un modo análogo, cualquier cambio del número de átomos en la molécula provoca su inmediata transformación en molécula de otra sustancia. Estos fenómenos resultan posibles porque en el microcosmos impera la acción discreta o discontinua. Por ello el átomo u otro microobjeto

puede no absorber en absoluto la energía de la acción exterior siempre que esa energía sea inferior a cierta magnitud crítica. Pero si supera la magnitud dada, la energía es absorbida enteramente y el átomo pasa, en forma de salto, a un nuevo estado estacionario.

¿Qué interrelaciones existen entre la cantidad y la cualidad durante los graduales cambios cuantitativos? ¿Puede hablarse de modificaciones de la cualidad antes de que se produzca el salto? Al parecer, es posible. La fase de existencia previa del sistema puede calificarse de cambios cuantitativos en relación tan sólo con el salto posterior, relativamente rápido, pero no por sí misma. Pero si esta fase se examina en sus conexiones internas, podrán observarse en ella no sólo los cambios cuantitativos, sino también los cualitativos en los *límites de la cualidad examinada*. Por ejemplo, el calentamiento del agua hasta los 100° C constituye un cambio cuantitativo sólo con relación a la rápida transformación posterior del agua en vapor. Pero si examinamos ese calentamiento por sí mismo, veremos que incluye en sí cierto cambio de la cualidad del agua en los límites de su estado líquido: a los 4°C la densidad del agua alcanza su mayor grado, y a medida que sigue aumentando la temperatura, aumenta sustancialmente la solubilidad de muchas sustancias, etc.

El desarrollo de una estrella supernova hasta la fase de su explosión supone un cambio cuantitativo con relación únicamente a esa fase, pero si se examina en sus conexiones internas, veremos que engloba también cierta modificación cualitativa de la estrella, que se manifiesta en el cambio de su estructura interna, de sus características espectrales, en la intensidad de las reacciones nucleares que en ella se producen, etc. En todos esos casos diríase que se *produce una modificación cuantitativa de la vieja cualidad*. De este modo, los cambios que son cuantitativos en unas relaciones pueden ser cualitativos en otras, y viceversa. Esto se debe a que toda cualidad no es algo estancado, sino que constituye

siempre un proceso, una fase intermedia entre el estado pasado y el futuro.

El carácter relativo de la oposición entre los cambios cuantitativos y los cualitativos se manifiesta con peculiar nitidez cuando se efectúa gradualmente, sin violencia, el paso de la vieja cualidad a la nueva. En la naturaleza se realiza así la evaporación de los líquidos (sin que se caliente hasta la temperatura de la ebullición), el cambio del medio geográfico, el encharcamiento de los lagos y estanques, la formación de la turba, del carbón, el petróleo y otros minerales. En el desarrollo de las nebulosas, las estrellas y los planetas, también se produce el cambio gradual, así como en la evolución de las especies vegetales y animales, incluida la evolución biológica del hombre. De modo análogo tiene lugar en la sociedad el desarrollo del lenguaje, de su léxico y régimen gramatical.

En algunos casos puede hacerse gradual un cambio que en condiciones corrientes transcurre en forma de un salto relativamente rápido. Por ejemplo, si el agua, el alcohol, el éter o algún otro líquido se calienta en un recipiente cerrado y a una presión creciente, llegará un momento en que ese líquido pasará al estado gaseoso, pero no mediante un salto, sino continuamente. En el experimento hecho con agua se necesita para ello una temperatura crítica igual a 374° C y una presión de 218,5 kg/cm^2. El vidrio, el alquitrán y otras sustancias también pasan ininterrumpidamente de un estado sólido a otro líquido.

Durante el paso gradual a un nuevo estado, el desarrollo se manifiesta como la unidad de los cambios cuantitativos y cualitativos. Teniendo en cuenta que los cambios cuantitativos expresan el momento ininterrumpido del desarrollo, y los cualitativos los discretos (las soluciones de continuidad), podemos decir que el desarrollo, en este caso, constituye la unidad de lo continuo y lo discontinuo. En los casos señalados la gran transformación cualitativa gradual se origina como resultado de la suma sucesiva de numerosos saltos

de menor escala. Así, el paso del estado líquido al gaseoso se debe a la fuga sucesiva de moléculas líquidas fuera de los límites de la capa superficial y su distribución entre las moléculas del aire, que constituye, propiamente dicho, la "evaporación de las moléculas". La formación de una nueva especie biológica viene a ser el resultado de modificaciones sucesivas en la estructura, las funciones y la herencia de muchos individuos de la especie dada. Las modificaciones cualitativas en el desarrollo del idioma a lo largo de cientos de años, se deben a la gran cantidad de cambios en el léxico y el régimen gramatical del idioma, provocados por los cambios en la vida social. Al parecer, en todos los casos de tránsito gradual a una nueva cualidad no hay saltos de ninguna clase. Pero, según palabras de Engels, "en la naturaleza no existen saltos, *precisamente porque* toda ella está hecha de saltos".[1]

Toda transformación cualitativa continua se basa en una gran cantidad de cambios discretos o discontinuos. Y en este caso volvemos a tropezar con la tesis de que los cambios cuantitativos en una cadena de fenómenos pueden ser cualitativos en otra.

Debemos señalar, sin embargo, que las modificaciones graduales no son, en la mayoría de los casos, completamente homogéneas e iguales en todas las etapas, sino que pueden realizarse a un ritmo más rápido o lento. Por ello, en el curso general de las transformaciones cabe destacar siempre cierta interrupción de la gradualidad", relacionándola con el aceleramiento del ritmo. Esta solución viene a ser uno de los elementos más importantes del salto, mientras que éste, en su conjunto, representa la fase de la modificación radical de la cualidad y el tránsito a un estado distinto por principio.

En toda una serie de casos la unidad de los cambios cuantitativos y cualitativos puede relacionarse con los conceptos de evolución y revolución, que caracterizan dos for-

[1] F. Engels. *Dialéctica de la naturaleza*, ed. cit. pág. 252.

mas importantes del desarrollo. La evolución expresa los cambios graduales, mientras que la revolución es el cambio radical, cualitativo, en el desarrollo de la base económica, de la supraestructura, de las fuerzas productivas, de la ciencia, etc. En la evolución se produce el cambio gradual de la cualidad al tiempo que se conserva su determinación esencial, mientras que en el período revolucionario la vieja cualidad sufre un quebrantamiento radical y en un plazo relativamente breve se crea sobre su base una cualidad completamente nueva.

El concepto de revolución sólo es aplicable a los fenómenos sociales, ya que la revolución está siempre relacionada con la acción del factor subjetivo, inexistente en la naturaleza.

Aunque en la naturaleza también se dan saltos rápidos, éstos tienen un carácter y un contenido completamente distintos que la revolución en la sociedad; por esto el concepto de revolución a ellos aplicado no es más que una metáfora artificiosa. En tal virtud, la evolución y la revolución en su vínculo indisoluble y recíproco no son formas universales del desarrollo, sino formas especiales del mismo en el marco de los fenómenos sociales. En la esfera de la naturaleza existen procesos evolutivos, pero no presuponen la necesidad de la revolución. En las ciencias naturales el concepto de evolución se emplea como sinónimo de cambios graduales o del desarrollo. En este sentido se habla de la evolución de las estrellas, de las especies vegetales y animales, etc.

La evolución, respecto a la revolución, se manifiesta en forma de cambios cuantitativos de la calidad dada. Pero tomada en sus propias conexiones interiores, la evolución puede abarcar también ciertos cambios de cualidad en los límites de la esfera de los fenómenos dados. Lenin escribía: "Si todo se desarrolla, entonces todo pasa de un estado a otro, ya que el desarrollo, como se sabe, no es un *crecimiento* sencillo, universal y eterno, un *aumento* (respective disminución), etc. Si esto es así..., hay que comprender más

exactamente la evolución, como el surgimiento y la desaparición de todo, como una transición recíproca".[2]

Así, pues, haciendo el balance de lo expuesto, podemos decir que el desarrollo representa en todas partes la unidad de los cambios cuantitativos y cualitativos. Las formas concretas del paso de la vieja calidad a la nueva dependen de la naturaleza interna de los fenómenos y de las condiciones exteriores en que se desarrollan.

3. Influencia de los cambios cualitativos sobre los cuantitativos

Si los cambios cuantitativos en el estado de los sistemas se transforman con el tiempo en cambios cualitativos, radicales, el nuevo estado cualitativo, a su vez, provoca un ritmo y unas leyes distintas en los cambios cuantitativos. La nueva cualidad está siempre supeditada a otra ley de cambio, debido a lo cual las características cuantitativas anteriores no se le pueden aplicar, y ceden su puesto a otras magnitudes y relaciones. El desarrollo, en este caso, transcurre como si la nueva cualidad se convirtiese en cantidad. En todos los fenómenos de la naturaleza y la sociedad se observa claramente la influencia de la nueva cualidad sobre el carácter de las modificaciones cuantitativas. Examinemos cómo se manifiesta en la naturaleza en diversos niveles de organización cualitativa de la materia. Como ejemplo tomaremos los cambios que experimenta la energía de enlace o las fuerzas de cohesión entre los elementos de un sistema durante el paso de unos sistemas a otros.

En los sistemas cósmicos del tipo de nuestra galaxia o del sistema solar la energía de enlace correspondiente a una unidad de masa es, relativamente, pequeña. Entre los cuerpos actúan tan sólo las fuerzas gravitacionales, que son proporcionales a las masas, e inversamente proporcionales

[2] V. I. Lenin, *Cuadernos filosóficos*. En *Obras completas*, t. 38, pág. 251.

al cuadrado de la distancia entre ellos, de acuerdo con la conocida ley de gravitación de Newton. Cuando el sistema cósmico se transforma en los cuerpos macroscópicos que nos rodean, la energía de enlace aumenta bruscamente. En los cuerpos sólidos y en los líquidos actúan entre las moléculas, además de las fuerzas gravitacionales, las eléctricas, que aumentan en grado considerable la cohesión entre las partículas que constituyen el cuerpo. En algunas aleaciones, por ejemplo el acero cromoniquelado, la resistencia a la ruptura llega a 180 *kg* por milímetro cuadrado de sección de cable.

Sin embargo, estas fuerzas moleculares no pueden ni compararse siquiera con las enormes fuerzas que encadenan los electrones y los núcleos atómicos en átomos. Para imaginarse la magnitud de las fuerzas interatómicas supongamos que se haya conseguido, de algún modo, desintegrar un kilo de hidrógeno en protones, por un lado, y de electrones, por otro, llegando a componer dos cargas eléctricas sumarias de signos opuestos. En ese caso, a una distancia de 1 *cm* entre esas cargas actuaría una fuerza de atracción equivalente a $8{,}3 \cdot 10^{28}$ *ton*. Para equilibrar esa fuerza habría que "suspender" de una de las cargas una masa de sustancia igual a ciento cuarenta mil globos terráqueos (la masa de la Tierra equivale a $6 \cdot 10^{21}$ *ton*).

Pero en los núcleos atómicos hay aún fuerzas más potentes que las mencionadas; nos referimos a las fuerzas de cohesión entre los nucleones, que superan en mil veces, aproximadamente, la fuerza de cohesión entre el electrón y el núcleo correspondiente a una unidad de masa. Para expulsar el nucleón de un núcleo estable se precisa una energía equivalente a varios millones de electrón-voltios, mientras que para separar el electrón del núcleo bastan varios electrón-voltios (la masa del protón es 1.836 veces mayor que la masa del electrón).

En concordancia con el aumento de las fuerzas de atracción crecen también las fuerzas opuestas, las de repulsión

de diverso género, debido a lo cual todo sistema estable existe en equilibrio dinámico. De este modo, las características cuantitativas más importantes de los sistemas se modifican bruscamente a medida que se pasa de un sistema a otro cualitativamente diferente.

La energía de enlace puede ser utilizada prácticamente por el hombre, con la particularidad de que a medida que se penetra más y más en la estructura de la materia aumenta en mayor grado la magnitud de la energía que se obtiene por unidad de masa de sustancia activa.

En las centrales hidroeléctricas, donde la energía eléctrica se obtiene a costa de la energía de la caída del agua, no se utiliza más que la energía de la interacción gravitatoria entre el agua y la tierra. La magnitud de la energía conseguida por unidad de masa de agua es muy reducida. Durante la combustión de diversas clases de combustible se utiliza ya la energía de la interacción electromagnética entre las moléculas de la sustancia, así como entre los átomos en las moléculas. En este caso la magnitud de la energía liberada por unidad de masa será mucho mayor. Hoy día, gracias al desarrollo de la energética nuclear se consigue utilizar la energía de enlace de los protones y neutrones en el núcleo. La energía que entonces se libera supera en millones de veces a la energía de combustión del carbón y el petróleo (por unidad de masa de "combustible").

¿Puede aplicarse fuera de los núcleos atómicos, es decir, a las propias partículas elementales, la ley según lo cual la energía de enlace aumenta a medida que disminuyen las dimensiones de los sistemas? Al parecer, es posible hacerlo, ya que en todas las reacciones conocidas que conducen a la desintegración de los átomos y los núcleos atómicos las partículas elementales no se desintegran, sino que se convierten de unas formas en otras. Sin embargo, la complejidad de las partículas elementales debe ser de un género totalmente distinto de la complejidad de todas las formas de materia conocidas. Es inaplicable a las partículas ele-

mentales el concepto de sistema mecánico integrado, pues cualitativamente son formas nuevas de organización estructural de la materia. Para convencernos de ello, examinaremos las características de todo sistema mecánico integrado.

El sistema mecánico es una formación en la que la energía de enlace entre sus elementos es mayor que la energía cinética de movimiento de esos elementos, así como la energía de la acción exterior. Para desintegrar este sistema se precisa, por consiguiente, que la energía de la acción exterior supere a la energía de los nexos internos. La energía que se precisa para la desintegración de todos los sistemas mecánicos es muchas veces menor que la energía propia del sistema, que corresponde con su masa en reposo. Por ejemplo, a un trozo de acero de 100 *kg* de peso le corresponde, según la ley $E = mc^2$, una energía propia de un orden de 10^{23} *ergios*. No obstante, para la total desintegración de dicho trozo en átomos, es decir, para su evaporación, se precisa una energía millones de veces menor. Incluso para la desintegración total de los núcleos atómicos en protones y neutrones se requiere una energía cien veces y pico menor que la energía propia del núcleo $E = mc^2$.

Muy distinto es el panorama que nos ofrecen las partículas elementales. Estos microobjetos no se desintegran ni siquiera cuando la energía de la acción exterior supera en muchas veces su energía, la propia. La energía propia del electrón, por ejemplo, es de quinientos mil electrón-voltios. Sin embargo, el electrón no se desintegra ni aun cuando la partícula incidente posee una energía de cuatrocientos millones de electrón-voltios, es decir, ochocientas veces mayor. En este caso se produce sólo la transformación del electrón y la partícula incidente en otros microobjetos; por ejemplo, la formación de pares de electrón-positrón, el surgimiento de los mesones, etc. Con la particularidad de que las partículas que se originan son también elementales, es decir, interactúan como un todo único en todos los procesos observables por los aparatos modernos y no están

constituidas por ninguna otra partícula o campo de los conocidos hasta ahora.

Puede creerse que no poseemos aún suficiente energía para desintegrar las partículas elementales, y que a medida que se crean aceleradores más potentes esta desintegración será posible.

Sin embargo, no se trata de la magnitud de la energía. En los rayos cósmicos se encuentran partículas con una energía de 10^{18} electrón-voltios, pero tampoco ellas provocan la desintegración de las partículas elementales, sino que producen chaparrones en cascada. Con una energía de acción sobre la partícula del orden de varios $E = mc^2$, la partícula se transforma en otros microobjetos, y el ulterior aumento de energía a fin de provocar la desintegración resulta prácticamente inútil. Todos estos hechos exigen que las partículas elementales se aborden de un modo completamente nuevo, pues demuestran que el concepto de sistema mecánico integrado es inaplicable en dicha región. La complejidad de las partículas elementales es de un género totalmente distinto de la complejidad de las clases de materia conocidas hasta la fecha. La escala jerárquica de sistemas *mecánicos* subordinados se interrumpe en las partículas elementales, y la ulterior organización estructural de la materia se supedita ya a leyes completamente distintas. Al parecer, el concepto de sistema puede aplicarse todavía a las partículas elementales, ya que poseen estructura compleja y están constituidas por algunos elementos materiales. Pero se trata de sistemas de un género especial, diferentes por completo de los mecánicos. Nos enfrentamos en este caso a una nueva manifestación de la infinitud cualitativa de la materia.

Del hecho de que la energía de enlace aumenta al reducirse las dimensiones de los sistemas se desprende lógicamente la conclusión contraria; a saber: que al aumentar las dimensiones de los sistemas ha de disminuir su energía de enlace. Entre los cuerpos de los sistemas cósmicos rigen tan sólo fuerzas gravitacionales que disminuyen en propor-

ción directa al cuadrado de la distancia entre los cuerpos. La disminución de las fuerzas de enlace está condicionada, además, por el hecho de que con el aumento de las dimensiones de los sistemas decrece constantemente la densidad media de la sustancia en ellos.

Si, por ejemplo, la densidad media de la sustancia en la Tierra equivale a 5,5 g/cm^3, en el sistema solar se hace igual a $4 \cdot 10^{-9}$ g/cm^3, en la galaxia a $0{,}5 \cdot 10^{-24}$ g/cm^3, y en la escala de la metagalaxia a 10^{-30} g/cm^3, aproximadamente. En consonancia disminuyen también las fuerzas de atracción por cada unidad de masa. Al mismo tiempo, la velocidad relativa y la energía cinética de movimiento de los sistemas aumenta a medida que crecen sus dimensiones. En el sistema solar la velocidad de movimiento de los planetas en torno al Sol no es superior a los 48 *km/seg* (velocidad de Mercurio); en la galaxia las estrellas giran alrededor de un centro común de gravedad del sistema a una velocidad de varios cientos de kilómetros por segundo. Las propias galaxias se mueven unas con respecto a otras a velocidades todavía mayores. Según demuestran las últimas mediciones del desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las galaxias más alejadas, algunas de ellas se mueven, con relación a nuestra galaxia, a una velocidad de setenta mil *km/seg*, en el caso de que el desplazamiento hacia el rojo sea, efectivamente, una consecuencia del efecto Doppler.

Cabe suponer que la metagalaxia posee una enorme energía cinética en su movimiento con relación a otros sistemas homogéneos a ella.

En virtud de esas leyes puede resultar que a partir de ciertas escalas, suficientemente grandes, la energía cinética del movimiento de los sistemas sea mayor que la energía de los nexos gravitacionales entre ellos, siendo imposible su unificación en un sistema *íntegro* de orden superior por infringirse el criterio de estabilidad del sistema. En este caso, la sucesión jerárquica de los sistemas mecánicos se interrumpirá en la escala del cosmos y la ulterior organi-

constituidas por ninguna otra partícula o campo de los conocidos hasta ahora.

Puede creerse que no poseemos aún suficiente energía para desintegrar las partículas elementales, y que a medida que se crean aceleradores más potentes esta desintegración será posible.

Sin embargo, no se trata de la magnitud de la energía. En los rayos cósmicos se encuentran partículas con una energía de 10^{19} electrón-voltios, pero tampoco ellas provocan la desintegración de las partículas elementales, sino que producen chaparrones en cascada. Con una energía de acción sobre la partícula del orden de varios $E = mc^2$, la partícula se transforma en otros microobjetos, y el ulterior aumento de energía a fin de provocar la desintegración resulta prácticamente inútil. Todos estos hechos exigen que las partículas elementales se aborden de un modo completamente nuevo, pues demuestran que el concepto de sistema mecánico integrado es inaplicable en dicha región. La complejidad de las partículas elementales es de un género totalmente distinto de la complejidad de las clases de materia conocidas hasta la fecha. La escala jerárquica de sistemas *mecánicos* subordinados se interrumpe en las partículas elementales, y la ulterior organización estructural de la materia se supedita ya a leyes completamente distintas. Al parecer, el concepto de sistema puede aplicarse todavía a las partículas elementales, ya que poseen estructura compleja y están constituidas por algunos elementos materiales. Pero se trata de sistemas de un género especial, diferentes por completo de los mecánicos. Nos enfrentamos en este caso a una nueva manifestación de la infinitud cualitativa de la materia.

Del hecho de que la energía de enlace aumenta al reducirse las dimensiones de los sistemas se desprende lógicamente la conclusión contraria; a saber: que al aumentar las dimensiones de los sistemas ha de disminuir su energía de enlace. Entre los cuerpos de los sistemas cósmicos rigen tan sólo fuerzas gravitacionales que disminuyen en propor-

ción directa al cuadrado de la distancia entre los cuerpos. La disminución de las fuerzas de enlace está condicionada, además, por el hecho de que con el aumento de las dimensiones de los sistemas decrece constantemente la densidad media de la sustancia en ellos.

Si, por ejemplo, la densidad media de la sustancia en la Tierra equivale a 5,5 g/cm^3, en el sistema solar se hace igual a $4 \cdot 10^{-9}$ g/cm^3, en la galaxia a $0{,}5 \cdot 10^{-24}$ g/cm^3, y en la escala de la metagalaxia a 10^{-30} g/cm^3, aproximadamente. En consonancia disminuyen también las fuerzas de atracción por cada unidad de masa. Al mismo tiempo, la velocidad relativa y la energía cinética de movimiento de los sistemas aumenta a medida que crecen sus dimensiones. En el sistema solar la velocidad de movimiento de los planetas en torno al Sol no es superior a los 48 *km/seg* (velocidad de Mercurio); en la galaxia las estrellas giran alrededor de un centro común de gravedad del sistema a una velocidad de varios cientos de kilómetros por segundo. Las propias galaxias se mueven unas con respecto a otras a velocidades todavía mayores. Según demuestran las últimas mediciones del desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las galaxias más alejadas, algunas de ellas se mueven, con relación a nuestra galaxia, a una velocidad de setenta mil *km/seg*, en el caso de que el desplazamiento hacia el rojo sea, efectivamente, una consecuencia del efecto Doppler.

Cabe suponer que la metagalaxia posee una enorme energía cinética en su movimiento con relación a otros sistemas homogéneos a ella.

En virtud de esas leyes puede resultar que a partir de ciertas escalas, suficientemente grandes, la energía cinética del movimiento de los sistemas sea mayor que la energía de los nexos gravitacionales entre ellos, siendo imposible su unificación en un sistema *íntegro* de orden superior por infringirse el criterio de estabilidad del sistema. En este caso, la sucesión jerárquica de los sistemas mecánicos se interrumpirá en la escala del cosmos y la ulterior organi-

zación estructural de la materia tendrá que estar supeditada a leyes totalmente distintas. Al parecer, la metagalaxia no constituye todavía este último sistema íntegro y, en principio, cabe suponer la existencia de sistemas de dimensiones todavía mayores; mas esa sucesión de sistemas íntegros tampoco puede ser infinita, sino que ha de tener cierto límite superior.

Podemos demostrar del siguiente modo la justeza de dicha tesis. Para que pueda existir una infinita sucesión jerárquica de sistemas, la energía de enlace entre los elementos de cada uno de ellos había de ser superior a la energía cinética del movimiento de los elementos del sistema, así como a la energía de las acciones exteriores. Si esta condición no se observa, no podrá originarse ningún sistema en el curso del devenir histórico de la materia.

Pero cuando el sistema tiene dimensiones infinitamente grandes, también han de ser infinitamente grandes las fuerzas de atracción entre sus elementos *extremos*, alejados recíprocamente a distancias ilimitadas. Como el sistema dado es infinito, cualquiera de los cuerpos que lo rodean está obligado a integrarlo, y en ese caso las fuerzas de atracción señaladas tendrían que advertirse de algún modo en cada cuerpo.

Bajo la acción de esas infinitas fuerzas, los cuerpos tendrían que adquirir una aceleración infinitamente grande. Pero esto, como se sabe, no se observa, y sobre cualquier cuerpo no actúan fuerzas ilimitadas, sino restringidas. Por otra parte, cualquier sistema circundante es una fuente de fuerzas finitas.

De aquí se deduce que entre cualquier clase de cuerpos, suficientemente alejados unos de otros, no habrá fuerzas de enlace superiores a la energía cinética de movimiento de los cuerpos dados y capaces de agrupar esos cuerpos en un sistema íntegro estable. Por consiguiente, dicho sistema no podrá originarse. La sucesión jerárquica de los sistemas mecánicos tendrá un límite superior, y el concepto de sis-

tema íntegro resulta inaplicable con relación a todo el universo infinito.

El universo entero es un conjunto infinito de sistemas relativamente autónomos, entre los cuales existe siempre una relación directa o indirecta, pero que tiene un carácter completamente distinto de la relación entre los elementos de cualquier sistema íntegro. En cualquier sistema íntegro, la conexión entre los elementos es *funcional*, es decir, el cambio de unos elementos no produce un cambio arbitrario de otros, sino completamente determinado, en consonancia con la ley única del sistema. En el universo infinito, por el contrario, el vínculo entre sistemas suficientemente alejados no es funcional, ya que no existe en este caso una ley de desarrollo único para todo el mundo, como tampoco hay un tiempo único. Cada sistema material se subordina a sus propias leyes de desarrollo y se caracteriza por su ritmo de tiempo, que se determina por sus nexos internos.

Eso no significa, claro está, que se viole el principio de la relación universal de los fenómenos. Todo objeto material del universo puede influir sobre cualquier otro objeto, por muy alejado que esté de él. Pero esa relación no será la interdependencia funcional que existe en cada sistema íntegro estable.

La influencia de una nueva cualidad sobre el carácter de los cambios cuantitativos se observa asimismo en la aceleración, sujeta a leyes, del ritmo de desarrollo a medida que se pasa de un estado cualitativo de la materia a otro más complejo y mejor organizado. Los sistemas de la naturaleza inorgánica se desarrollan con gran lentitud; los cambios cualitativos radicales de su estado se producen en períodos de decenas y centenas de millones de años. Así, por ejemplo, en una nube difusa compuesta de hidrógeno y helio y dotada de poca densidad es muy pequeña la probabilidad de formación de moléculas. Las colisiones de las microparticulas, en su inmensa mayoría, serán elásticas y reversibles sus interacciones. Pasará muchísimo tiempo

antes de que esa nube se convierta, por la acción de las fuerzas internas, en una formación más densa que, a su vez, puede constituir una base para la aparición de estrellas.

La materia viva se desarrolla, en cambio, con mucha mayor rapidez. En el tiempo que existe la vida en la Tierra se han originado millones de especies vegetales y animales y ha tenido lugar un progreso colosal. Además, el ritmo del desarrollo se aceleró con el progreso y la aparición de formas más perfectas. El desarrollo de la vida ha contribuido a la extraordinaria aceleración de los cambios de la materia inorgánica en la superficie de la Tierra. Durante un período muy corto de tiempo los organismos vivos elaboran gran cantidad de sustancias inorgánicas, facilitando así su redistribución y complicación. Así, por ejemplo, en el transcurso de trece años pasa por los organismos una cantidad de gas carbónico que supera en diez veces todo su contenido en la corteza terrestre.[3]

También en el desarrollo de la sociedad humana, que constituye una etapa cualitativa superior, tiene lugar una aceleración del ritmo. Esta aceleración se manifiesta en el incremento de las fuerzas productivas y en el progreso de la ciencia y de toda la cultura espiritual. En el régimen de la comunidad primitiva los cambios radicales de las fuerzas productivas se producían en períodos de decenas de miles de años; en el régimen esclavista y feudal, por el contrario, se verificaban con mucha mayor rapidez, y en los últimos cien años, la ciencia y la técnica han alcanzado, en el conocimiento y sostenimiento de la naturaleza, progresos mayores que durante toda la historia anterior de la humanidad. Con la aparición del pensamiento humano se originó en la propia materia un factor subjetivo que viene a ser una de sus propiedades y manifestaciones. Pero una vez surgida, la conciencia humana ha comenzado a desarrollarse a un ritmo creciente. Las limitaciones de nuestros sen-

[3] A. A. Saukov, *Geoquímica*. Ed. de Literatura Geológica, Moscú, 1951, pág. 327 (en ruso).

tidos en el conocimiento del mundo fueron superadas en grado considerable, con la creación de los más diversos y sutiles aparatos que han ampliado inconmensurablemente las fronteras del mundo perceptible. Hoy día, los perfeccionamientos alcanzados en los modos de reflejar la realidad no sólo atañen a los órganos sensoriales, sino también a la propia actividad intelectual del hombre. Gracias al desarrollo de la cibernética se han creado diversas instalaciones que mecanizan ciertas regiones del pensamiento relacionadas con los procesos contables, solución de ecuaciones, dirección de líneas automáticas en la producción, etc.

El empleo de calculadoras electrónicas en esas esferas perfecciona las capacidades de la mente humana en la misma medida que el empleo del telescopio amplía las fronteras de lo visible.

El funcionamiento de todas las máquinas cibernéticas se basa en el principio de retroacción. La retroacción existe en todos los organismos vivos, y es precisamente su existencia la que asegura el funcionamiento normal del organismo y su unidad con las condiciones de la existencia. De hecho, el desarrollo de la capacidad de reflejar en la naturaleza viva significa el perfeccionamiento de la retroacción. El mecanismo de retroacción alcanzó su desarrollo superior en el hombre que posee no sólo la facultad de reaccionar biológicamente ante los resultados de su acción sobre el mundo exterior, sino de someterlos a un detallado análisis lógico, a fin de encontrar las leyes internas en el aparente caos de las casualidades.

El desarrollo de la cibernética ha permitido perfeccionar en grado todavía mayor algunos aspectos del proceso de reflejo, inherente a nuestro pensamiento. Al mismo tiempo ha conducido a la creación de máquinas dotadas de "memoria" activa, incomparablemente más eficaz que el cerebro humano. Las calculadoras electrónicas modernas almacenan en su "memoria" un enorme volumen de información y proporcionan muy rápidamente los datos que se

solicitan. Gracias a ello, se han ampliado inconmensurablemente las posibilidades del progreso científico.

Se suponía antes que el desarrollo de la ciencia conduciría, con el tiempo, a una acumulación tan grande de conocimientos sobre el mundo, que los hombres, en el proceso de sus estudios, en toda su vida podrían asimilar esos datos, debido a lo cual el progreso ulterior en la ciencia resultaría imposible. Las últimas conquistas de la cibernética exigen una revisión total de semejantes concepciones.

Es indudable que el creciente volumen de los conocimientos excluye la posibilidad de que un solo individuo sea un especialista universal en muchos campos de la ciencia. El progreso en el conocimiento de la naturaleza irá vinculado a una diferenciación cada vez mayor de las ciencias (juntamente con el proceso inverso de síntesis de las diversas direcciones) y una especialización cada vez más restringida de los científicos. Pero el empleo de las máquinas cibernéticas, poseedoras de una memoria extraordinariamente capaz y con la facultad de resolver muy rápidamente muchos problemas, permitirá, aunque sin sustituir el cerebro humano, compensar en grado considerable las limitaciones naturales del hombre, asegurando las posibilidades de un progreso científico ilimitado. De este modo también en esta esfera el ritmo del desarrollo irá acelerándose con el tiempo. Generalizando lo dicho, podemos hacer la deducción siguiente: cuanto más compleja y mejor organizada esté una forma del movimiento y la materia dadas, más perfecto y progresivo será el fenómeno social dado y más rápido e intensivo, relativamente, el ritmo de su desarrollo. Y, por el contrario, a medida que se pase a formas de materia y movimiento menos complejas, el ritmo del desarrollo irá disminuyendo.

La disminución del ritmo del desarrollo de la materia no sólo está determinada por la simplicidad de la organización estructural de la materia, sino también por factores completamente distintos, relacionados con el carácter de

la distribución espacial de la sustancia. A saber: el ritmo del desarrollo y los cambios serán tanto más lentos cuanto mayores sean las dimensiones y más elevado el orden del sistema material dado. Este hecho no resulta difícil de explicar físicamente, a base del estudio del carácter de la interacción de los cuerpos.

A medida que aumentan las distancias se precisa cada vez más tiempo para transmitir la energía de unos cuerpos a otros. Debido al carácter finito de la velocidad de propagación de las interacciones, el cambio en el estado de algún sistema no provoca inmediatamente la permuta en el estado de otro sistema.

Este último refleja dicho cambio sólo en cierto período de tiempo, tanto mayor cuanto más grande sea la distancia entre los sistemas. A medida que aumenta la distancia, disminuye la fuerza de acción sobre el sistema. El resultado de todos esos factores será la disminución general del ritmo de los cambios y el desarrollo al pasar a sistemas cada vez mayores. Para todo el universo, donde las fuerzas de interacción entre cuerpos enormemente alejados son infinitamente pequeñas, el ritmo del cambio de una de sus regiones por las influencias de otras es de extraordinaria lentitud. Pero como el universo existe eternamente, esos cambios, en la escala de la eternidad, serán todo lo grandes que se quiera, aunque indefinidos. En este caso no puede decirse de qué estado procede el universo y a qué estado ha llegado. La idea del desarrollo como un proceso que tiene principio y fin es inaplicable a todo el universo.

CAPITULO IV

RELACIONES RECIPROCAS ENTRE LO CICLICO Y LO IRREVERSIBLE EN EL DESARROLLO

1. El ciclo como elemento interno del desarrollo.

El desarrollo objetivo de la materia en la naturaleza es una unidad de contrarios no sólo con relación al contenido y a las fuerzas motrices del desarrollo, sino también en su dirección general. Todo sistema concreto que ocupa un volumen limitado en el espacio existe un determinado período de tiempo. La fase ascendente de su desarrollo deja paso inevitablemente, con el tiempo, a otra descendente que conduce el sistema a su desintegración y a su transformación en otras formas cualitativas de la materia. De este modo, el proceso del desarrollo en la naturaleza está vinculado a la negación de las formas anteriores. Pero en cada una de estas negaciones no se produce la aniquilación de todos los resultados alcanzados en el desarrollo. Algunos conservan e integran, bajo otro aspecto, las nuevas formas. Por ello, el nuevo ciclo del desarrollo comienza por etapas algo distintas que los ciclos que le han antecedido directamente. Gracias a la continuidad entre los estados pasado y futuro, el desarrollo no se efectúa en círculo, sino que sigue una línea sumamente compleja que recuerda una espiral. En cada uno de los ciclos diríase que se repiten en parte las etapas pasadas, pero sobre una base nueva y, frecuentemente, superior.

Las interrelaciones entre lo cíclico y lo progresivo en el desarrollo constituyen el contenido de una ley dialéctica especial que, habitualmente, se relaciona con la ley de la

negación. Se entiende por negación el paso de un fenómeno a otro estado cualitativo.

Las formas de la negación pueden ser muy variadas. En un caso, la negación es el resultado de un salto brusco y de una vez; en otro, es la consecuencia de sucesivos cambios graduales. En el primer caso puede fijarse con relativa exactitud la línea nodular de medida y, por consiguiente, el momento de la negación. En el segundo caso esta línea es indefinida y móvil, pero también se establece aquí la culminación general de la negación, pues está relacionada con el paso del objeto o del fenómeno a un estado distinto de principio, y opuesto, en ciertos aspectos, al anterior. Esto constituye el criterio objetivo de que la negación se ha producido en efecto.

La ley de la negación de la negación no sólo subraya la inevitable extinción de todas las formas existentes y su sustitución por otras nuevas, sino también el hecho fundamental de que en el desarrollo se da cierta repetición —o movimiento cíclico—, condicionada por la acción de las leyes generales y los nexos de continuidad entre lo nuevo y lo viejo. Además, el retorno aparente a lo viejo puede efectuarse de diversas maneras. En unos casos se produce después de la segunda negación, de acuerdo con la tríada hegelina: tesis-antítesis-síntesis. En otros, se efectúa de un modo mucho más complejo. La culminación del ciclo no aparece después de la segunda negación, sino después de una negación múltiple.

En la naturaleza, la ley de la negación reviste la forma de *ley de las relaciones recíprocas entre lo cíclico y lo progresivo en el desarrollo*. Los procesos cíclicos se observan en todos los fenómenos del mundo material, comenzando por el movimiento de las micropartículas y terminando por las formas altamente organizadas de la vida. A primera vista, lo cíclico parece opuesto al contenido del desarrollo, pero en la realidad constituye su premisa indispensable. La modificación de todo sistema material no sólo presupone la

aparición de lo nuevo, sino también la conservación de algunos elementos de lo viejo. Debido a ello, resulta posible la constante reproducción de algunos rasgos de estados ya transcurridos. El proceso del desarrollo se manifiesta en forma de un conjunto integrado por numerosos ciclos, cada uno de los cuales se parece al anterior, pero contiene, al mismo tiempo, algo nuevo: *lo cíclico constituye la base interna de todo desarrollo.*

El análisis de cualquier sistema material confirma la justeza de esta tesis. Por ejemplo, el desarrollo de cualquier organismo vegetal o animal es posible únicamente en virtud de diversos procesos cíclicos que en él se producen y que están relacionados con el metabolismo, la asimilación y la disimilación, el funcionamiento de sus diversos órganos, etc. El cese o la infracción de esos procesos conduce el organismo a su extinción inevitable. Del mismo modo, el desarrollo de la especie en su conjunto está constituido por una multitud de ciclos sucesivos de existencia de los individuos de la especie dada. El desarrollo de la corteza terrestre y de la biosfera está condicionado por la sustitución cíclica del día y la noche, de las estaciones del año, del flujo y reflujo de las aguas, de las modificaciones de la dirección y la fuerza de las corrientes aéreas, etc. En una palabra, los ciclos constituyen en todas partes la base de los cambios y el desarrollo.

Lo cíclico se expresa en dos factores básicos: 1) en la acción de leyes constantes y estables, y 2) en la posibilidad de un retorno relativo de los sistemas a los estados iniciales. Examinemos, primeramente, la relación que hay entre los ciclos y las leyes.

Toda ley objetiva representa un orden estable (o tipo) de relaciones entre objetos o fenómenos materiales. Este orden presupone que entre los elementos integrantes del sistema existen unas relaciones recíprocas tales, que el cambio en el estado de unos elementos no provoca un cambio cualquiera de los otros elementos, sino un cambio plenamente determinado y en consonancia con la ley vigente. Este tipo

de relaciones recíprocas no es sino la dependencia funcional de unos elementos con relación a otros, y, por consiguiente, toda ley concreta de la naturaleza puede definirse como un orden (o tipo) estable de conexiones, en las que se incluye la relación funcional, entre los elementos interactuantes.[1]

La ley de la naturaleza no expresa una relación singular, sino masiva, estable y reiterada entre los fenómenos. De este modo, los ciclos están íntimamente ligados a la propia esencia de la ley. Al expresar las interrelaciones repetidas, la ley presupone que los procesos cíclicos se efectúan realmente o que son potencialmente posibles. Por ejemplo, la ley de la gravitación refleja las interacciones gravitacionales que existen constantemente entre los cuerpos, y que se efectúan, según la teoría actual, en forma de intercambio de gravitones. Del mismo modo, las leyes de la electrodinámica reflejan las interacciones electromagnéticas, que son el resultado del intercambio entre los cuerpos cargados de cuantos del campo electromagnético. Cada acto de este intercambio representa un cierto proceso cíclico, y el conjunto de una enorme multitud de procesos semejantes constituye toda la interacción, reflejada por la ley correspondiente.

En estrecha relación con esa forma cíclica se halla su segunda forma, en la cual tiene lugar la repetición de los estados pasados. Esa repetición se produce siempre que las condiciones exteriores y los vínculos internos del sistema se conservan en forma relativamente invariable. En esos casos la acción de las leyes conduce a la reproducción periódica de los estados anteriores. Esto es propio de todos los sistemas materiales, empezando por los núcleos atómicos y acabando por el cosmos.

El carácter universal de los procesos cíclicos ha dado motivos más de una vez para considerarlos como absolutos, originando diversas teorías cíclicas. Como todo sistema que

[1] Son funcionales únicamente las leyes concretas de la naturaleza que caracterizan formas claramente determinadas de interrelaciones. Pero las leyes universales de la existencia, reflejadas por el materialismo dialéctico, no expresan dependencias funcionales.

ha tenido principio ha de extinguirse inevitablemente con el tiempo, se impone la conclusión de que la sustancia que lo constituye vuelve a su estado inicial. La idea del desarrollo cíclico está muy difundida en la astronomía; se vincula al hecho de que las estrellas se forman de una sustancia difusa y a que esta sustancia difusa vuelve a aparecer en el curso de la evolución de las estrellas. Pero la idea de los ciclos llegó a su culminación en la llamada teoría del "universo pulsante", basada en una falsa interpretación del desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las nebulosas extragalácticas.

Según esa teoría, el universo se encuentra hoy día en un estado de expansión que será sustituido, después de determinado lapso de tiempo, por otro de contracción; a éste le seguirá otro de expansión, y así sucesivamente. Estos ciclos no se diferencian en nada unos de otros, debido a lo cual el desarrollo comienza de nuevo cada vez y pasa, sucesivamente, por las mismas etapas. Un universo de este tipo está cerrado en el espacio, es decir, se caracteriza por un radio positivo (aunque variable) de curvatura del espacio. Al mismo tiempo está también cerrado en el tiempo. Esta última deducción se argumenta con el siguiente razonamiento. Como el espacio y el tiempo están indisolublemente unidos entre sí, a la curvatura positiva del espacio ha de corresponder en el "universo pulsante" una curvatura positiva de tiempo. El tiempo, en este caso, se representará por una cierta curva circunferencial cerrada, si la curvatura es constante, y por una elipsis, si es variable. Eso significa que no puede hablarse de un tiempo infinito para el "universo pulsante". Como cada uno de esos ciclos no se diferencia en nada del otro, el pasado remoto es, al mismo tiempo, el futuro inmediato. El curso del tiempo se exterioriza físicamente en cada ciclo por separado solamente, pero no en la existencia general del universo. El científico inglés R. Schlegel, desarrollando esta concepción, asegura que la noción de tiempo es inaplicable a todo el universo. "El universo —es-

cribe—, si bien «infinito en el tiempo», no está propiamente dentro del tiempo, sino que es más bien *atemporal* en el sentido significativo de esa palabra."[2]

La idea del "universo pulsante" es íntimamente contradictoria y no responde a la realidad. En primer lugar, es totalmente injustificada la interpretación del desplazamiento hacia el rojo como prueba de la expansión de todo el universo. Si el desplazamiento hacia el rojo está determinado por un alejamiento efectivo de las nebulosas entre sí, cabe hablar tan sólo de expansión en la escala de la metagalaxia y no de todo el universo.

También es absolutamente errónea la tesis de que es posible volver plenamente a los estados iniciales. Los ciclos completos son posibles en cualquier sistema, pero con dos condiciones únicamente: 1) si el sistema dado es cerrado en el espacio y no interactúa con ningún otro sistema, y 2) si el número de sus posibles estados internos es finito. Pero ni la primera ni la segunda condición tienen sentido con relación al mundo en su conjunto. Para todo sistema, por grandes que sean sus dimensiones, habrá siempre un sistema o un conjunto de cuerpos de orden mayor, que incluirá el sistema dado en calidad de elemento integrante suyo.

Sin embargo, algunos científicos afirman que el reconocimiento de la infinitud del universo no contradice la idea de que es un sistema cerrado. Y lo argumentan del siguiente modo: como el universo es infinito, no puede existir nada a excepción de él y, por consiguiente, el universo puede considerarse como un sistema cerrado. Por lo cual resultan posibles los ciclos completos en el mundo.

Por lo que se refiere a los ciclos, su admisión está totalmente injustificada. Incluso si admitimos que el espacio de todo el universo se caracteriza por un cierto radio finito de curvatura, también en ese caso los ciclos completos, en el sentido del retorno absoluto a los estados iniciales, serían im-

[2] R. Schlegel, *El universo es atemporal*. En *La edad del universo*. Ed. de la Universidad Nacional Autónoma de México, 1958, pág. 97.

posibles. La materia es inagotable en su estructura, y la multitud de sus posibles estados internos es infinita. Por ello, el retorno completo a los estados anteriores es irrealizable por principio.

La tesis de que el universo es un sistema cerrado no puede admitirse en virtud de su carácter infinito y singular. Se basa en que se adjudica a una infinita multitud de elementos de propiedades finitas, cosa totalmente inaceptable. La peculiaridad más importante de toda multitud verdaderamente finita es la de que siempre existe una multitud de orden mayor que puede ser equivalente a ella e incluirla como su elemento integrante. Por ejemplo, si la multitud M es infinita, también lo será la multitud $k \cdot M, M^{k}$, etc. (donde k es una magnitud mucho mayor que la l). Si consideramos que no existen semejantes multitudes aún más generales y que la multitud M es la mayor de todas las posibles, tendremos que reconocerla como *infinitamente acabada*. Pero en ese caso perderá su cualidad y no será otra cosa que una multitud finita, ya que la magnitud infinita no es un conjunto acabado de elementos, sino una magnitud variable capaz de ser mayor que cualquier magnitud finita propuesta de antemano.

Dichas tesis, aplicadas a los problemas de la cosmología, significan que si el universo es un sistema en cambio infinito, su volumen podrá representarse en forma de una multitud de $M\ km^3$. Aunque también puede representarse, con la misma razón, por la multitud de $M \cdot M, M^{n}$, etc. Eso significa que, por grandes que sean las dimensiones del sistema, siempre existirán con relación a él regiones aún más amplias del universo en las cuales estará incluido como elemento integrante. Con lo mismo se hace evidente la falsedad de la tesis referente a que el universo es un sistema cerrado, debido a su infinitud y singularidad. Al mismo tiempo, se desmoronan todos los argumentos a favor del desarrollo cíclico del mundo en su conjunto.

Las leyes físicas que rigen la existencia de los sistemas

demuestran que éstos no son cerrados. Todo sistema interactúa con los cuerpos circundantes mediante la radiación y la absorción del campo electromagnético y gravitacional. Estos campos tienden a una propagación infinita, y es imposible, por principio, excluir totalmente su acción. Para ello tendríamos que separar cualquier sistema de otros cuerpos por medio de una sustancia, que absorbiera plenamente los campos.

Pero la sustancia dada originaría, a su vez, diversos campos, que se expandirían ilimitadamente en el espacio, y de este modo el problema inicial quedaría sin resolver. La existencia de los campos condiciona la imposibilidad, por principio, de que haya cualquier sistema cerrado y asegura su conexión con sistemas todo lo alejados que se quieran.

Debemos subrayar que incluso en el caso de sistemas finitos que existan durante un período limitado de tiempo, no puede hablarse de ciclos completos debido al carácter inagotable de la materia. En efecto, la tesis del retorno completo a los puntos de partida tendría sentido si existiesen en la naturaleza algunas partículas iniciales y carentes de estructura en las que se desintegrasen siempre los cuerpos y a base de las cuales empezase de nuevo el desarrollo, pasando sucesivamente por las mismas fases.

En la naturaleza, sin embargo, no pueden existir partículas semejantes. Las partículas privadas de estructura tendrían que ser absolutamente simples en su esencia, es decir, carecer de toda clase de conexiones internas, que siempre expresan la estructura. Por falta de conexiones internas, tampoco podrían poseer nexos externos de ninguna clase, ya que estos últimos están siempre determinados por los primeros, son inalienables de ellos y los expresan.

Si las partículas dadas no poseen vínculos externos, no podrán asociarse en sistemas más complejos, y en ese caso no se originarán núcleos atómicos, ni átomos, ni moléculas, ni cuerpos macroscópicos. La materia carecerá de toda organización estructural. Tampoco tendrá propiedad alguna,

ya que toda propiedad es el resultado de las conexiones internas y externas.

Pero una materia sin propiedades ni organización estructural es una pura abstracción a la cual nada corresponde en la realidad. De aquí se deduce que cada micropartícula es compleja en su estructura debido a la inagotabilidad *cualitativa* de la materia. Por consiguiente, no existen puntos primarios, iniciales, de desarrollo, de los cuales arranca siempre y en todas partes la complicación de los vínculos y las formas del movimiento. El grado de complejidad de los microobjetos, que se originan después de la desintegración, depende de las peculiaridades internas del cuerpo que se descompone y del carácter de sus interacciones con otros cuerpos. Y aunque hoy día se considera que el límite inferior de la desintegración son las partículas elementales y los campos, no está excluida la posibilidad de que también ellos puedan convertirse en algunas sustancias más simples, así como originarse de ellas en el devenir histórico de la materia. Así, pues, es natural suponer que el desarrollo de la materia en las diversas regiones del universo comienza por diversos niveles de organización estructural.

Tampoco existen formas finitas, limitadas, de desarrollo, ya que la tendencia a la complicación de los vínculos es indestructible en todas las clases de materia, y el desarrollo de la misma, siempre que existan condiciones propicias para ello, puede alcanzar grados todo lo altos que se quiera.

Así, pues, la imposibilidad de los ciclos absolutos en la naturaleza está condicionada: 1) por el hecho de que ningún sistema es cerrado por principio; 2) por la inagotabilidad de la materia en profundidad, por la infinita multitud de sus posibles estados internos en cualquier sistema; 3) por la ausencia en la naturaleza de puntos iniciales y finales de desarrollo fijados de un modo absoluto y siempre iguales, y 4) por la posibilidad de modificar las propias leyes de la naturaleza con el transcurso del tiempo.

Todo ciclo no es más que una reproducción parcial de

los estados pasados y está relacionado siempre con el proceso general del desarrollo en el marco de sistemas más amplios. Las interrelaciones entre lo cíclico y lo irreversible, entre el ciclo y el desarrollo ascendente, constituyen el contenido de una ley dialéctica especial que puede formularse del siguiente modo: *todo movimiento reversible o proceso cíclico constituye, en cualquier sistema, un eslabón o momento suelto en la cadena del desarrollo de un sistema de orden mayor,* que lo incluye en sí como elemento integrante.

Diríase que el movimiento de las partículas elementales en los átomos constituye plenamente procesos reversibles y reiterados, ya que en la mayoría de las interacciones la reacción puede producirse tanto en un sentido como en otro. Pero en la realidad existe un momento de cambio irreversible en cada uno de esos procesos, debido a lo cual las partículas elementales pasan a formar con el tiempo átomos de diversa complejidad, moléculas, y en condiciones favorables, sustancia viva. Es indudable que toda esa complicación de la materia tiene por fuente interna la tendencia al autodesarrollo, que se abre paso a través de la inagotable estructura de la materia y produce cambios irreversibles en las interacciones de las microparticulas. Si dichas interacciones fuesen plenamente reversibles, sería imposible todo desarrollo de la materia.

En la región de los fenómenos macroscópicos también tiene lugar el desarrollo irreversible a base de los procesos cíclicos. En la vida cotidiana observamos la constante sucesión de las estaciones del año, la repetición de diversos fenómenos meteorológicos, como precipitaciones, cambios de dirección de las corrientes aéreas, etc. Al parecer, se producen en este caso ciclos constantes con el retorno a todos los estados iniciales. Es cierto que existe una determinada repetición, pero no es completa. Debido a la acción de factores internos y externos, la superficie de la Tierra experimenta incesantes cambios: se forman montañas nuevas y se destruyen las viejas, se inundan amplias superficies y desde el

fondo de los océanos emergen nuevos sectores de corteza que se convierten en tierra firme, etc. De este modo todos los procesos cíclicos en la superficie de la Tierra y en la atmósfera son eslabones aislados del cambio irreversible y general de la composición química de la corteza terrestre, del desarrollo de toda la biosfera.

Si continuamos observando la rotación de los planetas en torno al Sol, veremos que esos ciclos son eslabones sueltos en el desarrollo general del sistema solar. Según la hipótesis de Schmidt, la evolución del sistema solar está relacionada con la gradual condensación en planetas de una nube de gas y polvo que antaño rodeaba el Sol. Cada ciclo giratorio de los planetas en torno del Sol iba acompañado de modificaciones en la composición de la nube dada debido a la absorción de la sustancia por los planetas. Hasta la fecha siguen cayendo sobre la Tierra varias toneladas de sustancia meteórica cada día, en forma fundamentalmente de polvo y pequeños granos. Los planetas de gran masa, como Júpiter, atraen mucha más sustancia meteórica. De este modo, el movimiento cíclico de los planetas ha constituido siempre momentos del desarrollo irreversible del sistema solar como un todo íntegro.

La misma regularidad preside el desarrollo de la galaxia y de otros sistemas estelares. La rotación de las estrellas y la materia de gas y polvo en torno a un centro de gravedad común está relacionada con otros numerosos cambios irreversibles: la radiación de materia y energía por las estrellas, la formación de nuevas estrellas a base de una sustancia difusa, el cambio de la estructura y de la forma exterior de la galaxia. El resultado de todos esos procesos es el desarrollo de las galaxias, que pasan de irregulares a espirales y de éstas a elípticas. Es indudable que los cambios irreversibles se producen, asimismo, en el marco de un sistema más general, la metagalaxia, aunque por ahora no se conocen sus límites ni las leyes que regulan sus cambios.

Teniendo en cuenta la relación entre lo irreversible y lo

cíclico, podemos comparar el desarrollo general de los sistemas a un movimiento en espiral, durante el cual tiene lugar la reproducción parcial de los estados pasados, pero a un nivel nuevo, frecuentemente, más elevado. Además, a medida que la espiral se desenvuelve, no sólo tiende hacia arriba, sino que aumenta también su diámtro, abarcando cada vez nuevas regiones de fenómenos. Sin embargo, tampoco debe considerarse como absoluta la imagen de la espiral, ya que el desarrollo, en muchos casos, se produce siguiendo una línea más compleja. Puede incluir en sí retrocesos temporales, retornos a los puntos de partida. Ocurre frecuentemente que cada círculo de la espiral se forme, a su vez, de una serie de círculos menores, correspondientes a cambios cíclicos internos. A veces el proceso general del desarrollo se ramifica en varias direcciones, completamente distintas por su forma y resultados.

2. Correlación entre lo progresivo y lo irreversible.

El desarrollo progresivo en línea ascendente no constituye más que una de las fases de existencia de todo sistema; la otra fase comprende los procesos de degradación y desintegración. Pero el hecho de que un sistema llegue a su término no significa la total aniquilación de todos los resultados alcanzados en su desarrollo. Algunos de ellos se conservan como factores de desarrollo en un sistema de orden mayor. Tampoco desaparece la tendencia a la complicación de los vínculos y las formas de movimiento inherente a los objetos materiales. Se realiza en otro sistema. Esto demuestra que el comienzo y el fin del desarrollo son propios de todo sistema concreto, pero que la materia, como sustancia, se desarrolla infinitamente en condiciones de existencia cualesquiera.

Los resultados del desarrollo se transmiten siempre cuan-

do a un sistema dado le corresponde un sistema de orden mayor, homogéneo a él por sus propiedades fundamentales y en el cual está incluido como elemento integrante. A muchos sistemas les corresponden sistemas mayores, y esto asegura el desarrollo progresivo general. Por ejemplo, para cualquier organismo vegetal o animal un sistema más general es la especie, y a pesar de que cada organismo existe en un determinado período de tiempo tan sólo, la especie, en su conjunto, se desarrolla progresivamente y tiende a formas cada vez más perfectas. Para el hombre, el sistema de orden mayor es la colectividad en la cual vive y toda la sociedad en su conjunto. Por ello todos los resultados positivos alcanzados por el hombre en el transcurso de la vida se heredan por la sociedad y constituyrn su aportación, grande o pequeña, al desarrollo.

Sin embargo, no todos los sistemas tienen su correspondiente sistema de orden mayor y de propiedades homogéneas. La sociedad humana, por ejemplo, carece de él. Por ello, si la vida en la Tierra cesase repentinamente debido a una catástrofe cósmica gigantesca, como, por ejemplo, la explosión del Sol o el choque de la Tierra con algún cuerpo cósmico masivo, todos los resultados alcanzados por la Humanidad perecerían irremisiblemente. El desarrollo progresivo de la sociedad se veria inmediatamente interrumpido y no tendría continuación alguna. Cabe suponer que semejantes catástrofes se han producido en más de una ocasión en el universo. Pero como el mundo es infinito en el espacio y en el tiempo, podemos suponer que siempre ha existido en él una cantidad infinita de mundos poblados. Y es muy probable que los problemas científicos y técnicos que no hacen más que despuntar ante la inteligencia humana han sido ya resueltos en numerosas ocasiones y distintas formas en otros mundos, donde, tal vez, se han alcanzado resultados inconmensurablemente superiores. Mas todos esos resultados son totalmente desconocidos para nosotros, ya que el desarrollo de la materia empieza de nuevo en cada región del universo.

pasando sucesivamente por las etapas que determinan las condiciones físicas de existencia de los sistemas.

Debemos observar, sin embargo, que gracias al progreso alcanzado en la ciencia y en la técnica durante los últimos decenios se abren perspectivas completamente nuevas en el desarrollo de la Humanidad. Llegará un tiempo en que se resuelva el problema de los vuelos cósmicos. Los hombres podrán montar estaciones experimentales en otros mundos, poblarlos y organizar comunidades cósmicas. Entonces, para la sociedad humana de la Tierra surgirá también un sistema de orden mayor. Debido a ello, si la vida en la Tierra se viera inesperadamente interrumpida por una catástrofe cósmica, esto no significaría la aniquilación de todos los resultados alcanzados por la Humanidad, pues hallarían su continuación y desarrollo en otros mundos.

Pero en este caso se plantean nuevas cuestiones: si la vida y la aparición de seres racionales es un resultado regular del desarrollo de la materia, ¿no podrían haberse originado ya esas asociaciones cósmicas en un pasado remoto, extendiéndose después por todo el universo? ¿No es la vida acaso igual de eterna que la propia materia?

Desde el punto de vista de los principios, una respuesta afirmativa a estas cuestiones no contradice las leyes objetivas de la naturaleza. Cabe afirmar, con gran probabilidad, que en el universo existe una infinita multitud de asociaciones cósmicas de seres racionales y que la propia vida es tan eterna como la materia. Por ello, el nivel del desarrollo de la materia en el marco de toda la naturaleza no se determina tanto por los factores temporales como espaciales. Esto significa que en cualquier período de tiempo y en algún lugar del universo existen todas las formas que se quieran de materia altamente organizada. Su propagación a otras regiones del universo está limitada únicamente por los inmensos espacios que separan los mundos. Este obstáculo, probablemente, ha sido la causa fundamental que ha impedido que la vida llegase a nuestro planeta procedente de otros mundos

y que la Tierra, durante todo el período de su existencia y cuando ya habían surgido en ella condiciones propicias para la propagación de la vida altamente organizada, no haya sido nunca objeto de un viaje cósmico procedente de otros mundos.

Examinemos ahora si es infinito el desarrollo progresivo en el marco de toda la naturaleza inorgánica, de si puede aplicarse la idea del desarrollo ascendente a regiones todo lo grandes que se quiera, a todo el universo infinito. Al analizar esta cuestión, sumamente compleja, tropezamos con el mismo problema de las interrelaciones entre lo cíclico y lo progresivo.

Para asegurar el ilimitado desarrollo progresivo en la naturaleza se precisa, ante todo, una ilimitada sucesión jerárquica de sistemas, gracias a la cual los resultados conseguidos en un sistema pueden pasar a ser los factores del desarrollo en el marco de un sistema más general. Pero en el universo no hay condiciones para que se forme una sucesión tan ilimitada de sistemas, aunque en su conjunto es ilimitado en el espacio y en el tiempo. No todo conjunto de elementos constituye un sistema; un sistema es una formación donde todos los elementos están tan estrechamente ligados entre sí que puede oponerse a los cuerpos exteriores como algo único. Con referencia a los sistemas físicos, esto significa que la energía de las conexiones internas ha de ser mayor a la energía cinética total de los elementos y a la energía de la acción exterior. En el caso contrario la formación no constituye un sistema único, sino cierto conjunto o conglomerado de elementos. Pero ningún cuerpo puede ser la fuente de fuerzas infinitamente grandes, capaces de mantener en el marco de un todo único cuerpos tan alejados como se quiera. Y esto significa que en el universo no hay una relación de dependencia funcional entre todos sus elementos y que no constituye un sistema único e íntegro.

Esta tesis puede argumentarse también a base de la teoría actual de las interacciones. Desde el punto de vista

de la mecánica cuántica, la interacción entre cuerpos diversos se efectúa por medio del intercambio de cuantos de distintos campos. La constancia de las fuerzas de conexión está asegurada por la suma de una enorme cantidad de átomos discretos de la interacción. Los cuantos radiados absorben una determinada parte de la masa y la energía del cuerpo, con la particularidad de que la energía de los cuantos no puede ser todo lo pequeña que se quiera. Como la masa de todo cuerpo es finita, sólo puede radiar un número limitado de cuantos. Una parte de ellos será absorbida por otro cuerpo que, a su vez, radiará cuantos. La interacción entre los cuerpos se origina como resultado del intercambio de cuantos.

Ahora bien, si aumentamos continuamente la distancia entre los cuerpos, la relación entre ellos, a partir de ciertas escalas, se interrumpirá en el transcurso de cada lapso de tiempo suficientemente pequeño. La interacción sería continua en el tiempo si cada cuerpo radiase y absorbiese en cualquier momento de tiempo todos los cuantos que se quisiesen. Pero eso es imposible, ya que la masa y la energía son limitadas y los cuantos no pueden poseer una energía infinitamente pequeña. Por ello, la interacción de los cuerpos es discreta o discontinua en el tiempo. Esta discontinuidad se manifiesta en función de la probabilidad del intercambio de cuantos y es tanto mayor cuanto menor sea la cantidad de cuantos que puedan intercambiar los cuerpos. Esto último depende, a su vez, de la masa de los cuerpos y de la distancia entre ellos. Si la distancia entre los cuerpos es suficientemente grande, la probabilidad del intercambio de cuantos puede ser infinitamente pequeña. En ese caso la interacción entre ellos se producirá una sola vez durante un período infinitamente largo de tiempo.

Cuando las distancias entre los cuerpos son pequeñas, también se produce la discontinuidad de la interacción, pero entonces es invisible prácticamente. Si los cuerpos están suficientemente alejados unos de otros, las rupturas de la

interacción serán muy esenciales y sus vínculos recíprocos, infinitamente pequeños. La energía de ese enlace puede ser incomparablemente menor que la energía cinética del movimiento de cada cuerpo y que la energía de acción por parte de los objetos próximos. Pero eso significa que los cuerpos dados no integran un sistema único y que ese sistema ya no existirá *para ellos*. Entre toda clase de cuerpos, suficientemente alejados unos de otros, puede haber conexiones de este tipo, pero como en el universo hay una infinita cantidad de cuerpos así y todos ellos forman, en su conjunto, la materia en movimiento que nos rodea, de aquí se deduce que no existe en el universo una conexión constante y funcional entre cualquiera de sus regiones infinitamente alejadas las unas de las otras. Dicha conexión puede ser discreta o discontinua en el tiempo.

El carácter discreto de la conexión no depende únicamente del valor de la energía propia de los sistemas, sino también de la velocidad finita de propagación de la interacción que, según las teorías actuales, no puede superar la velocidad de la luz. Una señal emitida por cualquier sistema llega a otro sistema alejado sólo al cabo de muchos años. Durante ese tiempo el sistema que ha enviado la señal pudo haber desaparecido como tal y la señal inversa será recibida por cuerpos totalmente distintos, cuyo desarrollo tenga, tal vez, muy poco de común con el desarrollo del sistema desaparecido.

Así, pues, desde diversos puntos de vista llegamos a una misma conclusión: en el universo no existe una relación funcional única entre *todos* sus elementos, relación que constituye la condición imprescindible para el desarrollo progresivo de toda clase de sistemas. Por ello, todo el universo puede considerarse como el conjunto de una infinita multitud de sistemas relativamente autónomos, cada uno de los cuales, aunque relacionado con el otro, posee su propio desarrollo independiente.

La imposibilidad de un ilimitado desarrollo progresivo

para todo el universo se explica también por el hecho de que para un desarrollo así se precisa la existencia de un cierto tiempo único en todo el universo, de unas leyes específicas únicas a las que estuviera supeditado el desarrollo de todos los cuerpos. Sin embargo, en el universo no hay un tiempo único. La teoría de la relatividad ha demostrado que el ritmo del tiempo depende de conexiones reales y de las velocidades recíprocas de movimiento de los sistemas y puede ser distinto en los diversos sistemas. También es relativa la simultaneidad de los sucesos: los acontecimientos simultáneos con relación a un sistema pueden no serlo con relación a otros sistemas.

Debido a la ausencia de un tiempo único, tampoco puede haber una ley general única de desarrollo para todo el universo. Cada uno de los sistemas materiales está sujeto a sus propias leyes específicas de desarrollo. Con referencia a todo el universo no puede hablarse del desarrollo ascendente, sino de cambios irreversibles que presuponen la imposibilidad de retornar plenamente a estados alguna vez recorridos. Los procesos del desarrollo ascendente no son más que casos particulares de su cambio general irreversible, ya que este último no sólo comprende la complicación de los vínculos y las formas del movimiento, sino también la degradación y la desintegración de los sistemas materiales.

Por ello, la ley que hemos examinado referente a la correlación entre lo cíclico y lo progresivo debe formularse del siguiente modo con respecto al caso dado: para todos los sistemas que existen realmente y poseen las dimensiones *más grandes* posibles, los procesos cíclicos que en ellos se producen son eslabones de cierto cambio irreversible que tiene lugar en un *conjunto* todavía mayor de cuerpos en todo el infinito universo.

3. Manifestaciones de la irreversibilidad de los cambios en la acción de las leyes de la naturaleza.

La irreversibilidad de los cambios en la naturaleza está unida estrechamente en la materia con la propiedad de reflejar, que se manifiesta en la capacidad que tienen los objetos materiales de reaccionar de un cierto modo ante los estímulos exteriores, "plasmando" el estado del medio circundante. Esta propiedad de reflejar caracteriza la peculiar "memoria" de los sistemas con relación a sus interacciones precedentes. La existencia de esa clase de "memoria" es el factor principal del desarrollo o de la modificación irreversible en las diversas regiones del mundo material. En la sociedad, por ejemplo, el incesante progreso hacia formas cada vez mejor organizadas es posible porque en los estados siguientes se conservan y utilizan los resultados de las etapas anteriores del desarrollo, que han sido encarnadas materialmente en herramientas de trabajo, diversos monumentos culturales, libros, obras de arte, etc. El desarrollo en la naturaleza viva se produce gracias a la retención en la herencia de caracteres propicios adquiridos en las generaciones anteriores. También en la naturaleza inorgánica la peculiar "memoria" de los sucesos pasados se realiza en diversos cambios irreversibles que constituyen el contenido interno del proceso del desarrollo. Si la modificación fuese plenamente reversible, sería imposible todo desarrollo.

¿Se puede observar esa irreversibilidad en el carácter de acción de las leyes de la naturaleza, o bien se propaga únicamente a ciertas propiedades y estados de los sistemas? Habitualmente se supone que las modificaciones sólo son inherentes a objetos y fenómenos concretos, pero que las propias leyes del desarrollo de los cuerpos son invariables. Sin embargo, no hay ningún fundamento lógico o real para semejante interpretación de las leyes.

Toda ley de la naturaleza representa un orden estable

de conexiones entre los objetos materiales o sus diversas propiedades. Con el curso del tiempo, las propiedades de los cuerpos se modifican y, por consiguiente, debe modificarse también el orden de sus conexiones, es decir, la ley vigente. Este cambio se manifiesta, ante todo, en el hecho de que con el desarrollo del sistema aparecen en él leyes que antes no existían. Por ejemplo, debido al surgimiento de la vida en la Tierra se originaron leyes propias de una materia altamente organizada y que no existían en el marco de los sistemas inorgánicos. Lo mismo tiene lugar en el desarrollo de la sociedad, donde las viejas leyes de desarrollo de determinadas formaciones son sustituidas por leyes nuevas, en consonancia con las nuevas condiciones originadas. En la sociedad, los ciclos de sustitución de leyes son mucho más cortos que en la biosfera, ya que el ritmo del desarrollo se acelera a medida que surgen fenómenos cada vez más complejos y mejor organizados.

Pero es mucho más difícil percatarse del carácter histórico de las leyes en la naturaleza inorgánica, pues el ritmo del desarrollo es aquí extraordinariamente lento y a lo largo de las etapas de desarrollo observadas en distintos sistemas diríase que las leyes conservan una forma completamente estable.

Debido a ello se crea la impresión de que son, en general, invariables. Por tanto, no es casual que se haya divulgado en la ciencia y en la filosofía la concepción de que las modificaciones son inherentes a ciertos estados de la materia solamente, y que las propias leyes del movimiento son eternas e inmutables. En la física de los siglos XVII, XVIII y XIX se consideraban como tales las leyes de la mecánica clásica; hoy día se les añaden las leyes de la electrodinámica, de la mecánica cuántica y de la teoría de la relatividad.

En la mecánica clásica el convencimiento de que las leyes eran inmutables y eternas estaba relacionado con las ideas metafísicas sobre la estructura de la materia y se deducía de ellas. Se admitía que la materia estaba compuesta por áto-

mos invariables y carentes de estructura, que venían a ser los últimos ladrillitos indivisibles del universo. Los átomos personificaban el límite inferior de la divisibilidad de la materia y de la desintegración de todos los cuerpos. A partir de ellos, comenzaba por doquier la complicación de la materia, que pasaba sucesivamente por unas y las mismas etapas. Por ello, las leyes del movimiento de los átomos representaban principios eternos e invariables, dotados de valor universal. Estos principios actuaban en todos los tiempos y en todas las regiones, sin excepción, del universo. La física de los siglos XVII, XVIII y XIX consideraba como tales leyes los principios de la mecánica clásica.

Hoy día, las concepciones sobre la materia han variado radicalmente. Se ha demostrado, primero, que las leyes de la mecánica clásica no son, ni mucho menos, universales. Actúan tan sólo en la esfera de los corrientes fenómenos macroscópicos; en el microcosmos y en la escala del cosmos reinan otras leyes completamente distintas de la teoría cuántica y la cosmología. Segundo, los átomos no constituyen el límite inferior de fraccionamiento y desintegración de los sistemas. Existen formaciones aún más simples: las partículas elementales y los campos, que componen los átomos. Por eso, las leyes del movimiento de los átomos ya no son absolutamente primarias en todas las formas de desarrollo de la materia y pueden surgir a base de las leyes de las partículas elementales a medida que estas últimas se asocien en átomos. En principio, pueden existir en el universo infinito regiones donde no hayan entrado todavía en acción las leyes atómicas, debido a que la materia se halla aún en una fase inferior de organización. Por ejemplo, si en alguna región del universo no existe más que hidrógeno y no han tenido tiempo de formarse otros elementos, no hay en ella una base suficiente para la acción de la ley periódica de los elementos químicos. Esta última irá ampliando paulatinamente su esfera de acción a medida que vayan surgiendo elementos cada vez más complejos.

El principio del desarrollo puede extenderse de un modo análogo a las propias partículas elementales y a sus leyes correspondientes, aunque, como hemos indicado ya, la complejidad de dichos microobjetos ha de ser completamente distinta de la complejidad de moléculas y átomos. A todas las micropartículas les corresponde una estructura determinada, y el día que ésta se descubra se comprenderá claramente el problema del desarrollo en la región de los fenómenos dados.

Más aún, cabe decir que la idea del desarrollo no sólo es aplicable a las partículas elementales, sino también a cualquier otra clase de microobjetos y sus leyes correspondientes.

Para demostrar dicha tesis haremos el razonamiento inverso. Supongamos que existen unas leyes primarias y completamente invariables, universales a tal punto que rigen en todos los tiempos y en todas las regiones del espacio. Como la ley es un determinado orden de conexiones entre los objetos materiales o sus propiedades, para que esas leyes invariables sean posibles es preciso admitir la existencia de microobjetos primarios e invariables dotados de conexiones totalmente estables y eternas. Si esos microobjetos variasen o fuesen capaces de surgir históricamente, no podría hablarse de la eternidad de sus leyes. Por consiguiente, han de ser primarios y carentes de estructura, deben representar el nivel inferior de la posible desintegración de cualquier clase de formaciones y el punto de partida de todo desarrollo de la materia en la naturaleza.

Pero semejantes microobjetos no pueden existir. Como carecen de estructura, no deben poseer ninguna conexión interna y, por consiguiente, tampoco pueden tener vínculos exteriores de ninguna clase. La ausencia de estos últimos excluye la posibilidad de que esos microobjetos se asocien en formaciones más complejas que, debido a ello, no pueden originarse. En este caso, tampoco la materia podría tener una organización estructural. Carecería, por tanto, de toda

suerte de propiedades, ya que éstas son el resultado de las conexiones internas y externas que, según hemos supuesto, no existen en las micropartículas primarias. Ahora bien, una materia sin propiedades ni organización estructural carece de toda realidad. Debemos reconocer, por tanto, que en la naturaleza no pueden existir partículas primarias y carentes de estructura, dotadas de propiedades invariables. Por el contrario, todos los microobjetos con que se enfrenta la ciencia en el proceso de su devenir histórico son inagotables en su estructura; es decir, no sólo poseen conexiones externas, sino también múltiples vínculos internos que, naturalmente, pueden ser de lo más diverso debido a la inagotabilidad cualitativa de la materia.

De aquí se desprende que no puede hablarse de elementos últimos, finitos, de desintegración de los sistemas materiales, de formas inferiores de complejidad de la materia. También es erróneo suponer que el desarrollo en toda la naturaleza empieza por unos determinados elementos primarios. Tanto el límite inferior de descomposición como el punto inicial del desarrollo pueden ser de lo más diverso. Se determinan por las peculiaridades internas de los sistemas y las condiciones exteriores existentes. En virtud de ello, no puede hablarse de leyes primarias absolutamente invariables, dotadas de valor universal. Cualquier ley de la naturaleza es compleja en su base causal y su condicionamiento. Al igual que todo objeto concreto surge históricamente en el curso del desarrollo de la materia y desaparece con el tiempo, transformándose en otras formas, también las leyes que lo caracterizan son históricamente perecederas en la *región dada* del espacio y poseen una esfera de acción limitada. Al desintegrarse el sistema, dejan de funcionar las leyes que lo caracterizaban. Esas leyes que han existido en la realidad pasan después a la esfera de lo potencialmente posible. Su tránsito inverso a la realidad podrá ocurrir siempre que se consiga reproducir nuevamente todas las condiciones, fuerzas motrices y vínculos anteriores del sistema. No debe olvi-

darse, además, que la duración de las leyes resulta tanto mayor cuanto menos compleja es la forma de la materia que caracterizan.

Pero en este caso puede hacerse la siguiente pregunta: la ausencia de una ley en un sistema dado, ¿no significa, acaso, que, en general, esta ley no existe en la naturaleza? ¿No puede suceder lo contrario, es decir, que la falta de una ley en unos sistemas sea compensada por su existencia en otros?

Desde ese punto de vista la aparición y desaparición histórica de las leyes puede estudiarse con relación tan sólo a sistemas concretos, pero no al "mundo en su conjunto", donde cualquier ley está y estará siempre presente. En este caso las diferencias en el nivel de organización de la materia y en el carácter de las leyes vigentes se determinarán, exclusivamente, por la dispersión espacial de los sistemas.

Es indudable que dichas tesis contienen una cierta parte de verdad. Como los diversos sistemas de la naturaleza se hallan en diversos niveles de desarrollo, las leyes de la naturaleza que no se han formado aún o que han desaparecido ya en unos sistemas pueden estar vigentes todavía en otros. Por ejemplo, la falta de complejas asociaciones químicas en unas regiones del universo no excluye su presencia en otras. Aquello que surge como una posibilidad en unas regiones del universo puede existir como realidad en otras. Esta tesis, sin embargo, no se refiere a todas las posibilidades que existen en la naturaleza. En cada sistema pueden darse condiciones específicas desconocidas en otros sistemas. Por ello, las posibilidades que corresponden a las condiciones dadas tal vez no hayan sido realizadas aún en ninguna otra parte del mundo.

Dichas posibilidades pueden caracterizar tanto las condiciones concretas como las leyes que presiden el sistema. Y si esas posibilidades se transforman en realidad, las condiciones y las leyes correspondientes se originarán en el mundo por vez primera. Este carácter individual y específico de las

leyes está condicionado por el hecho de que la multitud de posibles estados internos de la materia es infinita y jamás podrá realizarse plenamente. No existiría esa variedad ni esa singularidad si el movimiento de la materia en la naturaleza se efectuase en forma de ciclos completos en constante repetición, con la desintegración de todos los sistemas en unos mismos elementos primarios, comenzando el desarrollo por idénticos puntos de partida en todas las partes. En ese caso, el desarrollo pasaría sucesivamente por idénticas etapas en todos los diversos sistemas, y toda posibilidad nacida en uno de ellos tendría que estar realizada ya en otros sistemas que estuviesen en distinto nivel de desarrollo.

Pero, como se ha demostrado ya, estos ciclos son imposibles de principio. Vemos, pues, que el desarrollo en cada sistema también posee sus propias peculiaridades individuales, gracias a lo cual se originarán en cada sistema posibilidades no realizadas en otros. Eso significa que, por principio, pueden surgir leyes nuevas en consonancia con dichas posibilidades. La idea de la irreversibilidad de los cambios puede aplicarse con pleno fundamento no sólo a todos los estados concretos de los sistemas, sino también a las leyes vigentes en la naturaleza.

Además de la aparición y desaparición histórica de leyes concretas, en determinadas regiones del espacio, la irreversibilidad de los cambios en la naturaleza se exterioriza en el hecho de que la propia *forma de acción* de la ley varía con el transcurso del tiempo.

Toda ley concreta de la naturaleza expresa objetivamente las relaciones funcionales entre objetos interactuantes. Gracias a ello puede representarse, en principio, en forma de un determinado sistema de ecuaciones, cuya solución depende exclusivamente de los progresos en el desarrollo de las ciencias naturales y la técnica matemática. Muchas leyes, además de su forma funcional, se caracterizan por determinados parámetros o constantes, que expresan una mayor estabilidad de las conexiones y de algunas propiedades de

los objetos interactuantes. En las ecuaciones de la mecánica clásica y cuántica, por ejemplo, tales magnitudes serán la constante de gravitación, la constante de Planck, el valor de la masa, la carga del electrón, etc.

Suele admitirse que tanto la forma de la dependencia funcional como las constantes de las leyes son completamente invariables y deben ser absolutamente iguales en todas las condiciones donde rige dicha ley. En la convicción de la justeza de esa idea se basa la seguridad en los resultados de muchas mediciones técnicas y científicas; por ejemplo, la edad de la Tierra se determina a base del período de desintegración de los isótopos radiactivos. Los datos experimentales de que se dispone demuestran, en efecto, que las constantes y la forma de las dependencias funcionales, en períodos de tiempo comprendidos en varios miles de millones de años, no se modifican, al parecer. Sin embargo, esto no es todavía argumento suficiente para afirmar categóricamente que son, en general, invariables. Es muy posible que los dos factores mencionados experimenten ciertos cambios en períodos todavía mayores de tiempo. No está excluida tampoco la posibilidad de que dichos cambios se descubran en períodos de tiempo observables si la técnica de las mediciones se perfecciona sustancialmente.

¿Puede aplicarse la tesis de la posibilidad de modificar las leyes a todas las leyes existentes de la naturaleza? No, es la respuesta a esta pregunta. En la naturaleza, además de las leyes concretas que actúan en regiones limitadas del espacio y tiempo, hay leyes universales. Figuran entre ellas, en primer lugar, la ley de la indestructibilidad de la materia y el movimiento y las leyes de la dialéctica que hemos examinado. Además de estas leyes dialécticas, existen otras cuya formulación exacta está pendiente todavía de investigaciones teóricas. Las leyes universales dadas no pueden modificarse con el transcurso del tiempo, ya que expresan siempre propiedades y relaciones de los objetos materiales existentes.

En las leyes concretas puede modificarse, ciertamente,

su forma funcional y sus parámetros. Además, la propia ley puede dejar de regir si desaparecen las conexiones correspondientes y los objetos materiales.

Las leyes dialécticas no poseen ninguna forma funcional ni contienen parámetros de ninguna clase, gracias a lo cual no pueden expresarse matemáticamete en forma de unas ecuaciones determinadas. Expresan los rasgos generales contenidos en todas las leyes concretas del desarrollo. En cualquier ley concreta se habla, de una u otra forma, de las relaciones recíprocas entre los cambios cuantitativos y cualitativos, de la unidad de los contrarios en los fenómenos de la naturaleza, de las interrelaciones entre lo irreversible y lo cíclico en el desarrollo, de las formas de los vínculos causales, etc.

La generalización del contenido dialéctico dado de una multitud de leyes concretas conduce a la formulación de las leyes universales de la naturaleza arriba mencionadas. Estas últimas no están destinadas a un solo grupo de fenómenos, sino a todos los fenómenos de la naturaleza y la sociedad. Por ello, precisamente, no pueden caracterizarse por alguna forma funcional concreta o los diversos parámetros. Si a la ley dialéctica se le adjudica una forma funcional y los correspondientes parámetros, se convertiría en una ley específica de la naturaleza. Pero si se la examina tal como es, no hay necesidad de adjudicarle las propiedades mencionadas. La ley dialéctica puede aplicarse, sin excepción alguna, a todos los fenómenos. Los nuevos fenómenos que surgen están supeditados a esas leyes en el mismo grado que los existentes antes. Gracias a la carencia de la forma funcional y de parámetros concretos no pueden modificarse con el correr del tiempo, ya que nada hay en ellas que pueda cambiar. En este sentido las leyes dialécticas ocupan una situación especial en comparación con todas las demás leyes concretas. Expresan los rasgos más generales de todo cambio, y como éste constituye el modo de existencia de la materia, son, necesariamente, universales e inmutables.

Así, pues, si resumimos todo lo dicho respecto a las relaciones recíprocas entre lo cíclico y lo irreversible, podemos establecer las siguientes conclusiones:

1. Todo proceso cíclico en cualquier sistema representa un momento del desarrollo y del cambio irreversible en el sistema o conjunto de cuerpos de un orden mayor.

2. El desarrollo progresivo puede ser continuo e ilimitado en tanto en cuanto los resultados de las formas precedentes del desarrollo se heredan por los estados siguientes y por cuanto a cada sistema dado le corresponde un sistema de orden mayor, de propiedades homogéneas, en el cual está incluido como elemento integrante.

3. Si ese sistema mayor no existe y a medida que aumentan las escalas se encuentran tan sólo sistemas relativamente autónomos, la materia en esas escalas experimentará cambios irreversibles tan sólo, que presuponen la imposibilidad del retorno de los sistemas a los estados anteriores y del restablecimiento de todas las formas de interconexiones existentes anteriormente. Una expresión concreta de esa irreversibilidad la tenemos en la modificación de las leyes funcionales y sus parámetros en el transcurso del tiempo gracias al surgimiento y el desarrollo de vínculos causales, nuevos por principio, inexistentes en los estados anteriores.

4. Irreversibilidad de los cambios del tiempo.

Además de los factores arriba examinados, la irreversibilidad de los cambios del tiempo se expresa en el carácter del curso del tiempo. En la existencia general de la materia, el tiempo es irreversible, es decir, transcurre del pasado al futuro a través del presente. Este fenómeno está íntimamente vinculado a las leyes generales del desarrollo de la materia en la naturaleza.

Para observar concretamente la vinculación entre los cambios del tiempo y las leyes generales del desarrollo,

veamos cuáles son las propiedades fundamentales del tiempo y cómo se explican a base de la ciencia actual.

Las ideas físicas y filosóficas sobre la naturaleza del tiempo han experimentado cambios esenciales en los últimos cincuenta años, debido a la aparición y al desarrollo de la teoría de la relatividad, que ha ejercido profunda influencia sobre toda nuestra concepción del mundo. En la física clásica el tiempo era considerado como una cierta duración pura, que fluía de un modo estrictamente igual, uniforme y sin ninguna relación con el carácter de los procesos materiales en los cuerpos. Newton expresó con suma claridad esa concepción del tiempo en su obra *Principios matemáticos de filosofía natural*. Newton decía: "*El tiempo matemático verdadero*, absoluto, fluye de un modo uniforme, por sí mismo y por su propia esencia, independientemente de todo lo anterior, y se llama de otro modo duración. *El tiempo relativo, aparente o corriente* es la medida de la duración exterior, exacta o variable, realizada por medio de algún movimiento y percibida por los sentidos, que se utiliza en la vida cotidiana en lugar del tiempo verdaderamente matemático; a saber: hora, día, mes, año."[1]

La concepción newtoniana del tiempo reflejaba algunos rasgos del tiempo objetivo, debido a lo cual podía emplearse para explicar casi todos los fenómenos en el marco de la física clásica y de toda la experiencia cotidiana. Sin embargo, contenía ciertas suposiciones no fundadas y latentes contradicciones lógicas. No se argumentaba, en primer lugar, la admisión de una velocidad infinitamente grande de propagación de señales, que constituyó el punto de partida de la idea de la homogeneidad del tiempo en todo el universo. Ya en 1676 las primeras mediciones de la luz hechas por O. Roemer, a base de las observaciones de los eclipses en los satélites de Júpiter, dieron una magnitud finita de 215.000 *km/seg*. Más tarde, la magnitud de la velocidad de la luz en el vacío

[1] Cita tomada de A. N. Krilov, *Obras completas*, t. VII, Ed. Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 1936, pág. 30 (en ruso).

se fijó en 299.790 *km/seg*, siendo ésta la velocidad admitida como la máxima en la propagación de señales.[4]

Por otra parte, la tesis de que el tiempo fluye por igual en todas partes suscita, por su propio sentido, la pregunta inmediata: ¿en qué fluye o con relación a qué? Si fluye en algo, cabe pensar en la existencia de otro tiempo, en el que fluye el primero, el cual, a su vez, ha de transcurrir en otro tiempo todavía más general, etc. Nos encontramos, pues, con una serie infinita de tiempos, "embutidos" unos en otros, cosa totalmente inaceptable. Y si reconocemos, por otra parte, que el tiempo no fluye "en nada", el concepto de "fluir" pierde todo sentido, ya que no se puede fluir con relación a nada: la nada es la nada y ninguna de sus partes se diferencia en algo de la otra. Esas contradicciones no tienen solución si se reconoce que el tiempo está al margen de las modificaciones de los cuerpos, es decir, si se le considera desde el ángulo de las concepciones newtonianas. Pero puede hallarse una solución si el tiempo se relaciona con los cambios de la materia y se toma en cuenta su dependencia de esos cambios.

Desde el punto de vista del materialismo dialéctico el

[4] Hemos de observar que la tesis sobre la velocidad máxima de la luz (C) no está fundamentada teóricamente en la física moderna: se admite como un postulado que se basa en las mediciones experimentales de la velocidad de la luz. Cabe suponer, por principio, que en la naturaleza existen velocidades de propagación mayores que C. Hoy día se enuncia ya la hipótesis de la posibilidad de esos procesos en el microcosmos, hecho que concuerda, en general, con el principio de la inagotabilidad de la materia y el movimiento. Hemos de señalar, ciertamente, que dicha hipótesis no está confirmada todavía por los experimentos. Si algún día se descubrieran procesos de velocidad mayor que la velocidad de la luz, sería necesario crear una teoría más general que la de la relatividad para describirlos, teoría que pondrá de manifiesto entonces los límites de su aplicación.

Sin embargo, a base de los datos actuales, cabe decir que en la naturaleza no existen velocidades de propagación infinitamente grandes, ya que para comunicar semejantes velocidades a los objetos materiales se necesitarían fuerzas infinitamente grandes que no pueden originarse en ningún sistema concreto. Así, pues, la limitación de la velocidad de propagación de señales es una consecuencia imprescindible de la ley de la conservación de la materia y el movimiento, que constituye la base inconmovible de todos los procesos. Es evidente que en el futuro también se tratará de fijar el valor concreto de la velocidad límite, ya que, al parecer, puede precisarse. Hoy día esa velocidad se considera igual a C, pues concuerda perfectamente con todos los datos teóricos y experimentales.

tiempo no existe fuera de los cambios reales de los cuerpos y representa una de las formas más importantes de la existencia de la materia. Todos los fenómenos surgen y desaparecen no en un tiempo que fluye eternamente, sino que el propio tiempo es la duración del proceso de aparición, formación y tránsito a otras formas. *El tiempo caracteriza la sucesión de los acontecimientos y representa la medida de la duración de los cambios en los sistemas materiales.*

En relación con lo dicho, debemos subrayar la falsedad de la idea, muy difundida antes, pero que encontramos todavía, de que el tiempo puede existir al margen de los cambios de la materia; es decir, que existe un tiempo "puro", libre de toda clase de mezclas: un tiempo "verdadero".

Semejante concepción resulta posible en el marco de la física de Newton, pero no corresponde en absoluto a los logros de la ciencia actual. Sería igualmente erróneo considerar el tiempo y los cambios en relación de causa y efecto; es decir, plantear la cuestión de si el tiempo es la causa de los cambios o los cambios son la causa del tiempo. Los conceptos de causa y efecto son del todo inadmisibles en este caso. Si consideramos que los cambios son la causa del tiempo, deberemos reconocer que el tiempo puede originarse después del cambio y, por consiguiente, que los propios cambios se han producido al margen del tiempo, pues es sabido que la causa es siempre independiente con relación al efecto y le antecede. Por otra parte, si consideramos el tiempo como la causa de los cambios, no puede entenderse en absoluto qué es lo que expresa antes del cambio y, en general, si puede la materia existir sin modificarse. De este modo, los conceptos de causa y efecto son inadmisibles con relación al tiempo. El tiempo es un modo de existencia de la materia que *expresa el proceso de los cambios* en cuanto a su continuidad y caracteriza la duración de los objetos materiales en su propia existencia.[8]

[8] A la luz de lo expuesto consideramos errónea la concepción del tiempo mantenida por el profesor N. A. Kozyriev en su obra *Mecánica causal o astro-*

Como el tiempo viene a ser la medida objetiva de la duración de los cambios, su ritmo ha de depender de las relaciones internas y externas del sistema, es decir, de su estructura y del carácter de las interacciones con otros cuerpos, en particular de la velocidad del movimiento relativo. Y, en efecto, la teoría actual dice que las propiedades métricas del espacio y el tiempo deben ser distintas en el microcosmos que en la esfera de los fenómenos macroscópicos, y que en la escala de los gigantescos sistemas cósmicos se ponen de manifiesto propiedades completamente distintas.

Del mismo modo, el ritmo del tiempo varía al variar los vínculos internos de los cuerpos. De la teoría general de la relatividad se deduce que el tiempo fluye más lentamente en las proximidades de los cuerpos que poseen una masa suficientemente grande y un potente campo gravitacional. Esta tesis se ha confirmado experimentalmente con el descubrimiento del desplazamiento hacia el rojo en las líneas espectrales de algunas estrellas.[6] Al desplazamiento hacia el rojo le corresponde una frecuencia menor de oscilaciones de átomos en las estrellas dadas en comparación con sus osci-

tricia en aproximación lineal (Púlkovo, 1958), difundida por algunos de sus diariopulos en periódicos y revistas. Kozyriev considera que el tiempo puede existir al margen de la materia en forma de cierto ser, dotado de "curso propio". El tiempo puede influir sobre la materia, modificar su energía, la cantidad de movimiento y otras propiedades. Supone, asimismo, que, en general, la ley de la conservación de la energía no se cumple en cada sistema, ya que la energía de los sistemas puede aumentar constantemente a costa del "curso del tiempo" y transformarse inversamente en "curso del tiempo" (págs. 11, 43, 45 y 46 de la obra citada).

Semejante punto de vista hace caso omiso de las adquisiciones del materialismo dialéctico y de la teoría de la relatividad en el problema del tiempo y retorna de hecho a las concepciones newtonianas. Es contradictoria también porque supone que en la naturaleza, además de la materia, existe el tiempo puro que influye sobre la materia, es decir, establece un dualismo en la concepción de la unidad del mundo. Kozyriev defiende esa concepción del tiempo a fin de superar la teoría de la muerte térmica del universo: la creación continua de energía en los sistemas a costa del "curso del tiempo" debe, en su opinión, impedir que el universo pase a un estado de equilibrio térmico. Sin embargo, esta teoría puede refutarse sin recurrir a semejantes suposiciones y sin entrar en contradicción con la ley de la conservación de la energía y con la concepción del tiempo elaborada por el materialismo dialéctico y la teoría de la relatividad a base de la generalización de todos los datos experimentales.

[6] No debe confundirse este fenómeno con el desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las nebulosas extragalácticas, que se considera como una consecuencia del efecto Doppler.

laciones en la Tierra, hecho que caracteriza, precisamente, la disminución del ritmo del tiempo en las estrellas, debido a la acción de sus campos gravitacionales.

El ritmo del tiempo varía a medida que aumenta la velocidad de movimiento de los cuerpos. En la actualidad tenemos datos experimentales que confirman dicho efecto en la esfera de los microfenómenos. Las observaciones hechas sobre la desintegración de los mesones en los rayos cósmicos demuestran que el tiempo de vida de los mesones y la distancia recorrida por ellos es tanto mayor cuanto más se aproxima la velocidad del mesón a la de la luz. Por ejemplo, si un mesón–π cargado y con un tiempo de vida $T_0 = 10^{-8}$ *seg* recorre 1 *m*, aproximadamente, con una velocidad de 280.000 *kl/seg*, que es una velocidad muy próxima a la velocidad de la luz, recorrerá muchos kilómetros. Ese aumento de la longitud del recorrido se debe en grado insignificante tan sólo al incremento de la velocidad; en lo fundamental está determinado por el aminoramiento del ritmo de los procesos en el mesón y el aumento del tiempo de su vida según la fórmula:

$$T_{mov} = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

donde T_{mov} es el tiempo de vida del mesón en estado de movimiento;

T_0, su tiempo de vida en estado de reposo relativo;

v, la velocidad del mesón;

c, la velocidad de la luz en el vacío.

En los últimos tiempos se ha podido comprobar experimentalmente dicho efecto en la región de los fenómenos macroscópicos. Se ha creado el llamado reloj "atómico", en el cual la fuente de los procesos periódicos son las oscilaciones de las moléculas de amoníaco que se distinguen por una

rigurosa constancia. El reloj "atómico" posee una exactitud de curso tan estricta que el error de sus indicaciones puede reducirse a centésimas de segundo a lo largo de un siglo. Gracias a ese reloj pueden determinarse las irregularidades en la rotación de la tierra, es decir, precisar el tiempo astronómico.

Ofrecemos el siguiente experimento a la atención del lector. Dos relojes de este tipo se sincronizan exactamente entre sí, después de lo cual un reloj se queda en la Tierra y otro se envía en un cohete, que se convierte en un satélite artificial de la Tierra. Pasados varios meses se comparan las indicaciones del reloj que va en el cohete por medio de señales electromagnéticas o de algún otro modo con las indicaciones del reloj que ha quedado en la Tierra. El reloj en movimiento tendrá que estar retrasado, pero como la velocidad del cohete en órbita es de 8 *km/seg*, es decir, una velocidad mucho menor que la de la luz, el retraso equivaldrá a pequeñas fracciones de segundo; pero de todas formas podrá precisarse, pues superará en mucho el propio error de esos relojes.

Más sorprendente aún sería la reducción del tiempo en cohetes dirigidos por fotones —naves interestelares del futuro— puestos en movimiento por la conversión de partículas y antipartículas en cuantos de campo electromagnético y el reflejo de la radiación en dirección única. Con una velocidad próxima a la de la luz, todos los procesos dentro del cohete, incluidos los biológicos, habrían de aminorarse en comparación con los similares de la Tierra, con la particularidad de que ese aminoramiento sería tanto mayor cuanto más se aproximase la velocidad del cohete a la velocidad de la luz. Los cosmonautas podrían alcanzar los mundos más alejados de la galaxia, pero al retornar a la Tierra se encontrarían con la sorpresa de que en ella han transcurrido muchos más años que en el sistema del cohete. Sin embargo, los viajeros cósmicos no sentirían ningún aumento en el tiempo de su vida, pues sus funciones vitales se habrían desarrollado

aproximadamente en el cohete con la misma periodicidad (según el reloj del cohete) que en la Tierra. Según las indicaciones de su reloj de pulsera, han vivido el mismo tiempo que si hubiesen estado en la Tierra, haciendo abstracción de toda clase de factores desfavorables. El aminoramiento del tiempo en el cohete podrá descubrirse sólo si se le compara con el tiempo de la Tierra, una vez que haya regresado la nave. En caso contrario sería imperceptible para los habitantes del cohete.[1]

Tal aminoramiento del tiempo puede parecer absolutamente paradójico, por cuanto contradice las ideas habituales que se tienen sobre el tiempo como de algo que fluye de modo uniforme y homogéneo, sin relación alguna con los diversos procesos en los sistemas. Pero antes se ha demostrado ya a qué insolubles dificultades conduce semejante idea

[1] A veces se niega la posibilidad de que se acorte el tiempo en el cohete diciendo que todos los sistemas de referencia son absolutamente iguales.

Esta objeción, sin embargo, carece de fundamento, pues hace caso omiso del hecho —importante por principio— de que aunque es posible, *teóricamente*, relacionar el sistema de referencia tanto con el cohete como con la Tierra, *físicamente*, no obstante, los dos sistemas dados no son iguales, siendo la Tierra el sistema preferente (pero no absoluto, claro está). Esto se demuestra por el hecho de que no es la Tierra la que supera el campo gravitacional del cohete, sino que es el cohete quien supera el campo gravitacional de la Tierra para alejarse de ella. Además, la posición de la Tierra con relación a otras estrellas de la galaxia sigue siendo relativamente constante, mientras que la posición del cohete varía sin cesar; esta variación ha de estar también relacionada con la superación de los campos gravitacionales de otras estrellas y la *aceleración* del cohete. La desigualdad física entre el sistema de la Tierra y del cohete excluye la posibilidad de compensar el tiempo, y por eso el efecto del aminoramiento del mismo debe observarse en el cohete.

Tampoco hay fundamento para suponer que el aminoramiento del tiempo pueda compensarse del todo durante el movimiento inverso del cohete. Para semejante compensación es preciso que durante el movimiento del cohete a partir de la Tierra el ritmo del tiempo varíe según la ley $T_{cohete} = T_e \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, y durante el movimiento hacia la Tierra según la ley $T_{cohete} = \frac{T_e}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Pero las leyes de la naturaleza no pueden modificarse en función de las direcciones del movimiento de los cuerpos en el espacio. El espacio es isotrópico, y al faltar las fuerzas exteriores, las leyes de la naturaleza se manifiestan de un modo completamente igual en todas las direcciones del movimiento del sistema.

del tiempo. Esas dificultades pueden resolverse si se reconoce el vínculo indisoluble del tiempo con los cambios de la materia, si se le considera como la medida de la duración de todas las modificaciones. En este caso nada hay de sorprendente en el hecho de que el ritmo del tiempo cambie de acuerdo con el carácter de las relaciones exteriores entre los cuerpos y la velocidad de su movimiento.

En la física actual, la idea de la relatividad no sólo se extiende al ritmo del tiempo, sino también al propio concepto de la simultaneidad de los acontecimientos. Según la teoría de la relatividad, los sucesos simultáneos en un sistema pueden no serlo en otro que se mueva con relación al primero, y viceversa. En virtud de esas leyes, en el universo ya no existe un tiempo único que fluye por igual en todas partes. Cada sistema material autónomo posee, en realidad, su propio ritmo de procesos temporales que dependen de sus nexos y de la velocidad de su movimiento con relación a otros sistemas.

La inexistencia de un tiempo único en el universo guarda íntima relación con el carácter finito de la velocidad de propagación de las interacciones. Los cambios en el estado de unas regiones del sistema no provocan un cambio inmediato en otras regiones hasta pasado un cierto período de tiempo, necesario para la propagación de la señal. Gracias a ello, la ley de la igualdad de la acción y la reacción no se cumplirá en cada momento de tiempo, sino estadísticamente, teniendo en cuenta el retraso de las interacciones. Así, pues, no puede hablarse de cierta sucesión única de sucesos en regiones bastante grandes del espacio.

Gracias a esto, el concepto único para todos los sistemas del universo pierde su contenido físico, siempre que no se examine a la luz de las viejas concepciones metafísicas, sino que se relacione con la duración de los cambios reales en los cuerpos. De este modo, la eternidad de la existencia del universo en el tiempo no ha de comprenderse en el sentido de que el universo es infinitamente viejo en cierto curso

único de tiempo. Debe comprenderse en el sentido de que la materia es increada e indestructible, de que es eterna. Por lo que se refiere al ritmo temporal de los cambios, puede ser de lo más diverso en los distintos sistemas materiales.

La vinculación entre el tiempo y los cambios de la materia arroja una nueva luz sobre el problema de lo cíclico y lo irreversible en el desarrollo. La experiencia nos demuestra perfectamente que el tiempo es irreversible y fluye del pasado hacia el futuro. El pasado representa todo lo que ha existido hasta el momento determinado como presente, mientras que el futuro representa todo lo que surge después. El pasado puede influir sobre el futuro, pero el futuro ya no puede ejercer ningún influjo sobre el pasado. Resulta mucho más difícil definir el concepto de presente, ya que bajo ese nombre suelen sobrentenderse diversos períodos de tiempo: el siglo corriente, un año, un mes, un día, una hora e incluso un segundo, según sea la escala temporal de los acontecimientos examinados. Pero, en rigor, el presente de cada región dada del espacio viene a ser el instante que caduca: todo cuanto le ha antecedido pertenece al pasado, y todo cuanto surge después de él al futuro. El presente se expresa por un cierto límite de confluencia sucesiva del pasado y el futuro en un punto, que se mueve ininterrumpidamente por del eje del tiempo en dirección al futuro. Los alrededores de ese punto pueden tener un valor todo lo pequeño que se quiera.

La modificación del tiempo es posible únicamente en dirección del pasado hacia el futuro, y esto guarda estrecha relación con la irreversibilidad general de los procesos de la naturaleza. En efecto, supongamos que un sistema se desintegra en sus elementos componentes con emisión de energía. Con el flujo corriente del tiempo se produce, primero, la desintegración, y luego se originan diversos elementos dotados de una energía determinada. Con el flujo inverso del tiempo tendrían que aparecer, primeramente, elementos de energía determinada y producirse luego la reacción de la des-

integración. Pero la aparición de objetos materiales de la nada contradice la ley de la conservación de la materia y el movimiento, que constituye el fundamento de toda la concepción científica del mundo.

Con el flujo inverso del tiempo sería imposible la relación causal entre los fenómenos. En este caso, el efecto no podría originarse por principio, ya que no tendría un fundamento como es la causa. Por otra parte, la causa no podría ser causa, pues a nada conduciría, ya que el efecto se habría producido antes. Más todavía, la causa, en general, no podría haberse originado, ya que, a su vez, debe ser provocada por otra causa, y esta última, con el fluir inverso del tiempo, está obligada a darse después de ella. Así, pues, con el flujo inverso del tiempo y la inversión de las relaciones de causa a efecto no podría tener lugar ninguna interacción de los cuerpos y, por consiguiente, sería imposible la propia existencia de la materia. Y, por el contrario, el propio hecho de la existencia de la materia y la interacción universal de los cuerpos condicionan necesariamente el curso del tiempo desde el pasado hacia el futuro.

Examinamos con tanto detalle este problema porque hasta la fecha se sigue afirmando en física la posibilidad de un flujo inverso del tiempo que, según dice, tiene lugar en los microprocesos. Desde el punto de vista formal esta afirmación se deduce del hecho de que en las ecuaciones de la mecánica clásica y cuántica se puede cambiar el signo del tiempo por el inverso, con la particularidad de que las ecuaciones conservan la misma forma. Eso significa que éstas son invariables con relación al cambio del signo del tiempo y que los procesos correspondientes son simétricos con relación al pasado y al futuro. De aquí que algunos autores hayan concluido que la sucesión del tiempo en el microcosmos puede fluir en dirección inversa que en el macrocosmos.[8] Esta opinión se basaba en el hecho de que las

[8] Y. P. Terletski. *Leyes dinámicas y estadísticas de la física*. Ed. por la Universidad de Moscú, 1949, págs. 6, 25, 84 (en ruso).

interacciones, en el microcosmos, pueden propagarse con una velocidad mayor a la velocidad de la luz, y que esto, según dicen, demuestra la posibilidad del curso inverso del tiempo.

Estas opiniones son, sin embargo, totalmente injustificadas. Incluso si las interacciones pudiesen propagarse a una velocidad varias veces superior a la velocidad de la luz, esta circunstancia no modificaría el hecho de que un fenómeno, para producirse, necesita, primeramente, una causa. En caso contrario, llegamos a la infracción de las leyes fundamentales de la conservación de la materia y sus propiedades.

La reversibilidad del tiempo en las ecuaciones de la mecánica clásica y cuántica tendría un equivalente objetivo en el mundo exterior en el caso únicamente de que los diversos cuerpos y sistemas estuviesen compuestos por micropartículas carentes de estructura, semejantes a los puntos materiales. En este caso, todas las modificaciones internas de dichos cuerpos serían plenamente reversibles. Cada estado recorrido sería, al mismo tiempo, el estado futuro, lo que equivale a la reversibilidad del pasado y el futuro. En la física clásica, precisamente, se presuponía que la materia estaba estructurada de este modo. Sin embargo, la estructura efectiva de la materia es incomparablemente más compleja. Gracias a ello, en las interacciones de las partículas se originan siempre estados nuevos relacionados con cambios irreversibles.

No debemos olvidar tampoco que las micropartículas integran siempre los diversos sistemas macroscópicos y, por consiguiente, que su interacción está determinada en grado considerable por la influencia del macrocosmos. En los fenómenos macroscópicos el tiempo fluye desde el pasado hacia el futuro. Debido a ello, todos los procesos microscópicos sólo pueden efectuarse en esa dirección de tiempo y en consonancia con el principio de la causalidad y las leyes objetivas de la naturaleza.

¿Qué sentido tiene, pues, el cambio del signo del tiempo en las ecuaciones de la mecánica clásica y cuántica? Dicha

operación no significa que el tiempo pueda cambiar objetivamente de dirección. No es más que un reflejo peculiar de la posibilidad de procesos reversibles en el sistema. Si el sistema, en sus modificaciones, pasa por los estados *A*, *B*, *C*, *D*, etc., el cambio del signo del tiempo significa que el sistema puede pasar por esos mismos estados sucesivos, pero en dirección inversa: *D*, *C*, *B* y *A*.

Hemos de señalar, sin embargo, que el pleno retorno a los estados pasados constituye únicamente un caso extremo e idealizado. Sería posible siempre que no se ejerciese sobre el sistema una acción exterior y que la multitud de sus estados internos fuese finita. Para que esa posibilidad se convierta en realidad, ese sistema cerrado tendría que estar constituido por un número finito de puntos materiales, ya que los átomos y las moléculas reales poseen una estructura compleja y una infinita multitud de vínculos internos. Pero un sistema de puntos materiales no pasa de ser una abstracción. Por ello, en todos los procesos reales se produce el retorno incompleto a los estados pasados. Incluso en un simple recipiente con gas, donde, al parecer, se repiten siempre los movimientos de los átomos y las moléculas, se observan en realidad modificaciones irreversibles, relacionadas con el aumento de la entropía y el paso del sistema a otro estado termodinámico. De aquí se deduce que cualquier proceso de la naturaleza es *asimétrico* en el tiempo, con la particularidad de que esa asimetría está condicionada por el factor irreversible en cada cambio. En ello radica una de las leyes más importantes de la naturaleza.

Al investigar el problema del tiempo, se plantea necesariamente la siguiente pregunta: ¿puede relacionarse el flujo unidireccional del tiempo con el cambio irreversible de una propiedad concreta o un grupo de propiedades de la materia? Dicho de otro modo, ¿existen propiedades de la materia que se modifiquen siempre según el mismo signo y que permitan decir que se ha efectuado el tránsito de lo pasado a lo futuro? Se trata de una cuestión todavía discutible y muy

lejana de su solución. Sin embargo, ofrece sumo interés el análisis de las opiniones expuestas al respecto.

En algunos trabajos, sobre todo de autores de otros países, la irreversibilidad del cambio del tiempo desde el pasado hacia el futuro se deduce como efecto del cambio dirigido de una especial función termodinámica: la entropía. Se considera que los hechos venideros son los que corresponden a estados de gran entropía, de forma que el aumento de ésta determina el flujo del tiempo hacia el futuro. El concepto de entropía debe su nacimiento al desarrollo de la termodinámica y a la formulación de sus dos principios básicos. El primer principio de la termodinámica es la ley de la conservación de la energía aplicada a los procesos térmicos. La ley de la conservación de la energía dice que es imposible la creación de un motor eterno del "primer género" que realice un trabajo sin suministro de energía térmica o de alguna otra clase.

Pero la ley de la conservación de la energía no niega la posibilidad de obtener trabajo continuo utilizando el calor del medio ambiente —del aire o del agua del mar— sin ninguna modificación en los demás cuerpos. Como las reservas de energía en el aire y el agua son prácticamente inagotables, la instalación que realizara trabajo mediante la utilización de esa energía constituiría un *perpetuum mobile* del "segundo género". La segunda ley de la termodinámica afirma que la creación de ese motor es imposible. En la naturaleza no pueden producirse procesos cuyo único resultado sea la conversión del calor en trabajo. El mecanismo colocado en un depósito de agua templada adquirirá rápidamente la temperatura del agua y no producirá ningún trabajo. Para que vuelva a funcionar será preciso crear una diferencia de temperaturas, es decir, refrigerar el mecanismo dado. Ahora bien, para conseguir esa refrigeración habrá que invertir una cantidad de trabajo mayor que el que pueda producir ese mecanismo con la plena utilización del calor libre que se origina gracias a la diferencia de temperatura

Por consiguiente, es imposible el paso no compensado del calor en trabajo.

La segunda ley de la termodinámica afirma que en todos los fenómenos de la naturaleza el calor pasa, por sí solo, de cuerpos más calientes a otros menos calientes, pero que el cambio inverso del calor es imposible si no se realiza con ese fin un trabajo suplementario. Todos los procesos térmicos tienden a la dispersión del calor y a la nivelación de las diferencias de temperatura entre los cuerpos dados y el medio circundante. Esto significa que la velocidad de movimiento de las moléculas se nivela. Si un sistema cerrado se encuentra en un estado tal que resultan ya imposibles ulteriores conversiones espontáneas, eso significa que ha llegado el equilibrio térmico. En este caso se dice que la entropía del sistema ha alcanzado su máximo. La entropía es la medida de la probabilidad de que se alcance dicho estado termodinámico o la medida de la desviación de un sistema de su equilibrio estático. Caracteriza una determinada "degradación" de la energía térmica de un sistema cerrado, su incapacidad para convertirse en otras formas de energía.

Se sabe que en toda máquina térmica no todo el calor puede transformarse en trabajo. Supongamos que T significa la temperatura absoluta con la cual la cantidad de calor (Q) se suministra a la máquina térmica y T_0 la temperatura del medio circundante. Entonces, en el curso del trabajo de la máquina se perderá la siguiente cantidad de calor: $Q_0 = \frac{Q}{T} \cdot T_0$. La relación entre la cantidad de calor (Q) y la temperatura (T) se llama entropía $(S = \frac{Q}{T})$. De esa correlación se deduce que la entropía caracteriza la medida de la "degradación" de la energía térmica, en el sentido de su incapacidad para transformarse nuevamente en trabajo.

En todo sistema cerrado, los procesos tienden a nivelar las temperaturas y a establecer una mayor probabilidad de

distribución de energía entre las moléculas. Al fin y al cabo el sistema pasa a un estado de equilibrio termodinámico, al cual corresponde el valor máximo de la entropía. La segunda ley de la termodinámica afirma, precisamente, que en todos los sistemas aislados la entropía bien sigue siendo constante, en los cambios reversibles, bien aumenta, cuando los cambios son irreversibles. Pero como los procesos plenamente reversibles constituyen un caso extremo e idealizado, en todos los sistemas cerrados se produce, de hecho, el incremento de la entropía, que expresa la aproximación del sistema al equilibrio termodinámico. De este modo, la entropía es la medida de la probabilidad termodinámica *(W)* en el estado del sistema y está relacionada con dicha probabilidad por la correlación $S = k \ln W$ (donde k es la constante de Boltzmann). Hemos de subrayar que los cambios tendentes al equilibrio estadístico corresponden tan sólo a sistemas aislados; si un sistema no es cerrado, no puede llegar al equilibrio estadístico.

Así, por ejemplo, la vida en la tierra se desarrolla constantemente y los organismos vivos no manifiestan tendencias a pasar de un estado de máximo entropía. Mas eso no significa que los procesos de los organismos estén en contradicción con la segunda ley de la termodinámica o que los organismos sean sistemas "antientrópicos". La segunda ley de la termodinámica en su formulación extrema sobre la necesidad del equilibrio estadístico es aplicable sólo a sistemas cerrados; pero los organismos son sistemas no cerrados, es decir, *abiertos*. Interactúan constantemente con el medio ambiente, y reciben de él alimentos, aire, luz y calor. La segunda ley de la termodinámica no afirma nada con relación a sistemas de ese tipo. Pero si un organismo lo aislamos del medio ambiente y lo convertimos en un sistema cerrado, se comprende fácilmente que sin aire y sin alimentos no tardará en pasar a un estado de equilibrio termodinámico con el medio.

Así, pues, la tendencia a la desorganización y al movi-

miento irregular predomina en los sistemas cerrados, mientras que en los no cerrados, poseedores de una organización bastante elevada, es posible un movimiento, todo lo que se quiera de duradero y regular, y el desarrollo en línea ascendente.

La entropía es la única función conocida del estado que aumenta en un solo sentido con el transcurso del tiempo. Esta peculiaridad de la entropía ha dado motivos más de una vez para que se la considerase como un *indicador* peculiar de la dirección del tiempo del pasado al futuro. En algunos trabajos, la entropía era considerada como una característica única que se modifica absolutamente en un solo sentido en el transcurso del tiempo y viene a ser una personificación de su tendencia. Supongamos que en el espacio cósmico y a una distancia bastante grande de las estrellas avanza un cohete tripulado por hombres. En su marcha por el oscuro vacío los hombres no percibirán direcciones claramente marcadas de "arriba" o "abajo", ya que los cuerpos en el interior del cohete no experimentarán la influencia de la fuerza de gravedad. Todas las direcciones serán equivalentes en el espacio. Lógicamente surgen las siguientes preguntas: ¿Podrá aplicarse también al tiempo esa equivalencia y esa imposibilidad de hacer distinciones en él? ¿Qué indicio permitirá juzgar que el tiempo fluye del pasado al futuro, y no viceversa? (Para mayor simplificación vamos a suponer que todos los relojes mecánicos se han parado.) Eddington y otros físicos consideran que eso indica un aumento de la entropía del sistema. "Como se trata del universo físico —escribe Eddington—, en calidad de dirección del tiempo debe fijarse aquello en lo cual aumenta la desorganización, de forma que la aguja del tiempo «hacia el futuro» se dirigirá hacia abajo en cualquiera de las vertientes de la montaña que estuviéramos."[9]

La tentativa de relacionar el curso del tiempo con el cambio de la entropía tiene cierta base. La dirección del

[9] A. Eddington. *New Pathways in science*. Cambridge 1935, pág. 68

tiempo no puede deducirse de la complicación de la materia en el proceso del desarrollo, ya que la desintegración de los sistemas tendría que relacionarse necesariamente con el flujo inverso del tiempo, cosa completamente inaceptable.

No obstante, el aumento de la entropía no puede considerarse tampoco como un indicador único y universal de la dirección del tiempo para todos los procesos. Se trata de un indicador eficiente sólo en aquellos procesos a los que es aplicable el concepto de entropía. Dichos procesos están relacionados, en lo fundamental, con la forma térmica del movimiento. Por lo que se refiere a otros cambios, el concepto de entropía no se les puede aplicar, y por ello el indicador de la dirección del tiempo ha de ser completamente distinto. Para ilustrar lo dicho, supongamos que tenemos un sistema cerrado en el que se ha establecido un equilibrio termodinámico. Si consideramos que el flujo del tiempo es una función del aumento de la entropía, nos veríamos forzados a reconocer que en un sistema así el tiempo habría dejado de fluir. Mas esta deducción carece de sentido, ya que incluso después de establecido el equilibrio estadístico el movimiento en el sistema no se interrumpe. Aunque las velocidades de las moléculas lleguen a ser más o menos iguales por término medio, serán, sin embargo, muy distintas de cero. Existirá, además, el movimiento de los átomos en las moléculas, de las partículas elementales en los átomos y sus diversas interacciones a través del campo. Estas formas de movimiento son indestructibles por principio, y su propia existencia presupone el flujo del tiempo, que se manifiesta como una medida objetiva de la duración de todo cambio. El concepto de entropía, por tanto, es inaplicable a ellos.

Incluso en el examen de los fenómenos macroscópicos surgen considerables dificultades y contradicciones relacionadas con esa interpretación de la entropía. En ciertos casos, según afirma la física estadística, no sólo es posible el aumento de la entropía, sino también su disminución. Débese a las fluctuaciones que pueden producirse en un sistema que tien-

de al equilibrio estadístico. Tomemos como ejemplo un recipiente dividido en dos por un tabique; a un lado hay gas, y en el otro, el vacío. Si quitamos el tabique, el gas inundará la parte vacía, y su densidad, al poco rato, será igual en todas partes. Llegaremos a un estado de equilibrio estable con máxima entropía. Si el sistema está aislado, ese estado se conservará todo el tiempo que se quiera. Sin embargo, pasado cierto lapso de tiempo surgirán en el sistema desviaciones en el estado dado o fluctuaciones. Más aún, es posible por principio que durante determinado momento de tiempo todas las moléculas vuelvan a reunirse en una mitad del recipiente, dejando vacía la otra mitad. Es cierto que la probabilidad de ese suceso es insignificantemente pequeña; tanto menor, cuantas más moléculas haya en el recipiente. Si la masa del gas es igual a 1 g, por ejemplo, este hecho podrá producirse una sola vez en varios trillones de años. En este caso, sin embargo, lo que importa es la posibilidad de principio de semejante proceso. La admisión de esa posibilidad tiene suma importancia en la física. A fines del siglo XIX, Boltzmann se valió de la idea de las fluctuaciones para combatir la teoría de la muerte térmica del universo. Boltzmann suponía que en el universo se producen constantes desviaciones del equilibrio estadístico, acompañadas de una disminución de la entropía en determinadas regiones del espacio.

La posibilidad de que las fluctuaciones vayan acompañadas por una disminución de la entropía introduce cambios esenciales en la comprensión de las relaciones entre la entropía y el tiempo. Si el flujo del tiempo del pasado al futuro se identifica con el aumento de la entropía, la disminución de la misma habría que relacionarla con el flujo inverso del tiempo, del futuro al pasado. Pero semejante dirección del tiempo es imposible físicamente, ya que en ese caso se vuelve de revés la relación de causa a efecto y resultan imposibles todas las interacciones de los cuerpos. Por consiguiente, el aumento de la entropía no puede conside-

rarse como el criterio del flujo del tiempo hacia el futuro. No es el tiempo el que deriva de una característica física particular, la entropía, sino, por el contrario, el aumento de la entropía es derivada con relación a los cambios que la materia experimenta en el tiempo. Además, el concepto de entropía no es aplicable a todos los estados y formas de la materia existentes en la naturaleza, sino tan sólo a aquellos que se caracterizan por sus parámetros termodinámicos.

En este caso, ¿qué puede considerarse como un criterio efectivamente universal y equivalente de la dirección del tiempo? Ese criterio hay que buscarlo en las propias leyes objetivas de las interacciones y de los vínculos causales de los fenómenos. Es decir, el tiempo fluye del pasado hacia el futuro porque existe el vínculo causal de los fenómenos, que se expresa en la acción de las leyes de la naturaleza. Con el fluir inverso del tiempo el vínculo causal sería imposible y, por consiguiente, imposible también la interacción y el movimiento. Así, pues, esa dirección del tiempo no existe objetivamente y, por tanto, no puede haber criterios para ella.

Claro está que en el futuro, además de la relación de causa a efecto, se establecerán otros criterios concretos de la dirección del tiempo, relacionados con determinadas propiedades de la materia. Pero es evidente que cada uno de ellos será válido para una esfera restringida de fenómenos, determinada por los límites de existencia de dicha propiedad. Por lo que se refiere a la relación causal, ésta existe en todas las regiones del mundo material y por ello se emplea como el criterio más general de la dirección del tiempo.

5. Indestructibilidad del desarrollo de la materia en el cosmos

La existencia de cambios irreversibles en la naturaleza plantea la siguiente cuestión: ¿Significa esa irreversibilidad una cierta dirección en el desarrollo de toda la naturaleza y su aproximación a un determinado estado finito o, pese

a toda la irreversibilidad de los cambios, el desarrollo del mundo es infinito en el espacio y en el tiempo? Muchos científicos modernos responden a esa pregunta de acuerdo con la primera tesis, es decir, admiten la posibilidad de una etapa finita en el desarrollo del mundo, etapa que identifican con el estado de la muerte térmica o el equilibrio térmico del universo.

Thomson fue el primero que habló de la muerte térmica del universo en la segunda mitad del siglo XIX; posteriormente, esta idea fue desarrollada por Clausius, quien llegó a la conclusión de que todos los procesos en la naturaleza se producen exclusivamente en dirección a la dispersión de la energía, de forma que el universo tiende a un estado de equilibrio termodinámico. A partir de entonces, esa concepción se ha propagado incesantemente en los trabajos de físicos y filósofos idealistas. Jeans y Eddington son los que más han contribuido a ello. Jeans, considerando que la segunda ley de la termodinámica es la ley de la "degradación" de la energía en el universo, escribe: "El nivel de energía no puede decrecer constantemente, y lo mismo que el péndulo de un reloj, la energía ha de alcanzar su posición más baja. Tampoco el universo puede moverse eternamente; tarde o temprano llegará un momento en que el último ergio de energía alcance el peldaño inferior en la escalera de la degradación de la actividad, y en ese instante cesará la vida efectiva del universo. La energía se conservará todavía, pero perderá toda capacidad de cambio; será tan incapaz de poner en movimiento el universo como lo es el agua de un apacible estanque para hacer girar la rueda de un molino. Nos encontraremos en un universo muerto, aunque, posiblemente, templado." "Para el universo, lo mismo que para los mortales, la única vida posible radicará en su movimiento hacia la tumba."[10]

Jeans supone que si la materia alcanza en el universo una densidad de 10^{-29} g/cm^3, en el caso de una transfor-

[10] James Jeans, *The Universe around us*, Camb., N. Y., 1945, págs. 27-280.

mación completa de la materia en radiación la temperatura del espacio universal subiría unas decenas de grados tan sólo, permaneciendo, pese a todo, "muy por debajo de la temperatura del aire líquido".

Eddington, que apoya las conclusiones de Jeans, considera que, con el tiempo, toda la materia del universo se convertirá en radiación y el mundo se parecerá a un globo de ondas de radio en expansión. "En este caso —escribe Eddington—, puedo describir el fin del mundo físico como el de una colosal radiotransmisión."[11]

Para Eddington el incremento de la entropía es lo que indica la dirección del tiempo desde el pasado hacia el futuro; pero como la entropía, en caso de extinción térmica, debe alcanzar el máximo, el tiempo entonces dejará de fluir. Eddington escribe: "La entropía no podrá seguir aumentando, y como la segunda ley de la termodinámica prohibe su disminución, permanecerá constante. En ese caso desaparecerá nuestro indicador del tiempo, y como se trata de un sistema, el tiempo dejará de fluir. Eso no significa que el tiempo deje de existir; existirá y seguirá extendiéndose, lo mismo que existe y se extiende el espacio, pero ya sin ninguna cualidad dinámica. El estado de equilibrio termodinámico es necesariamente un estado de la muerte, así que no habrá ninguna conciencia que prevea uno u otro indicador de la «aguja del tiempo». Será el fin del mundo."

"Miremos ahora en dirección contraria —prosigue Eddington—. Al observar el tiempo en el pasado, nos encontramos con una organización cada vez mayor en el mundo. Si no nos detenemos antes, llegaremos a un tiempo en el que la materia y la energía tuvieron el máximo de organización posible en el mundo. Avanzar más allá de esto en el pasado es imposible. Llegamos al otro confín del espacio —tiempo—, el fin limítrofe, pero de acuerdo con nuestra dirección del tiempo lo llamaremos principio."[12]

[11] A. Eddington, *New pathways in science*, pág. 71.
[12] Ibidem, pág. 38.

La teoría de la muerte térmica del universo sigue difundiéndose hasta hoy día en diversas obras extranjeras. El notable científico norteamericano N. Wiener, uno de los creadores de la cibernética, se encuentra también entre los defensores de esa teoría. En su libro *La cibernética y la sociedad*, Wiener subraya en reiteradas ocasiones que "al universo, en su conjunto..., le es inherente la tendencia a la extinción."[13]

"Moriremos tarde o temprano, y es muy probable que todo el universo que nos rodea, cuando el mundo llegue a un estado de enorme equilibrio de temperaturas únicas, en el que no se produce nada realmente nuevo, muera debido a la extinción térmica. No quedará más que una tediosa uniformidad, de la cual cabe esperar tan sólo pequeñas e insignificantes desviaciones locales."[14]

La teoría de la muerte térmica fue decididamente criticada tan pronto como surgió por Engels, quien demostró que esa teoría se fundía estrechamente con la religión. Al impugnar la afirmación de que es inevitable la conversión de todas las formas de movimiento en calor, Engels señalaba que el movimiento de la materia es indestructible, no sólo en el sentido cuantitativo, sino también cualitativo, es decir, en el de su posibilidad de infinita transformación de unas formas en otras. El calor radiado al espacio universal volverá a convertirse en otras formas de movimiento, a fin de integrar un nuevo ciclo de desarrollo. Estas tesis de Engels constituyen la base filosófica de la impugnación de la teoría de la muerte térmica del universo.

El notable físico-materialista L. Boltzmann (1844-1906) contribuyó decisivamente a la crítica de dicha teoría. En la termodinámica clásica se consideraba que en un sistema que había alcanzado el equilibrio térmico cesaban todos los procesos activos relacionados con desviaciones de ese estado.

[13] N. Wiener, *La cibernética y la sociedad*, trad. rusa, Ed. de Literatura Extranjera, Moscú, 1958, págs. 28, 47.
[14] Ibidem, pág. 43.

Boltzmann abordó el problema del equilibrio térmico desde otro punto de vista, desde las posiciones de la teoría cinético-molecular del calor. Relaciona el concepto de entropía con el estado del sistema molecular, pero admite la posibilidad de que ese sistema se modifique incluso en estado de equilibrio estable. La entropía resulta proporcional al logaritmo de probabilidad del estado del sistema y el coeficiente de proporcionalidad viene a ser la llamada constante de Boltzmann. El aumento de la entropía es el paso a estados cada vez más probables. Pero como el estado de máxima probabilidad se aproxima al de una probabilidad algo menos, se producirán en el sistema pequeñas desviaciones o fluctuaciones de ese estado, en el curso de las cuales disminuirá la entropía.

Boltzmann aplica estas ideas a todo el universo. Admite que la segunda ley de la termodinámica es acertada con relación a todo el universo, que se halla, en su conjunto, en estado de equilibrio térmico. Sin embargo, en algunas partes del universo se producen desviaciones de ese estado o fluctuaciones, con disminución de la entropía, que abarcan, a veces, regiones gigantescas por sus dimensiones. Estas fluctuaciones se determinan por las leyes de la probabilidad y después de cada una de ellas el sistema retorna a su anterior estado de equilibrio. La región del espacio que nos rodea representa, precisamente, una fluctuación semejante de inmensas dimensiones, en el curso de la cual se han originado condiciones propicias para la aparición de la vida en la Tierra.

La hipótesis de las fluctuaciones de Boltzmann desempeñó un papel progresista en la lucha contra la teoría de la muerte térmica del universo, ya que demostraba la posibilidad de constantes modificaciones en el mundo. Sin embargo, como Boltzmann partía desde las posiciones del materialismo metafísico y mecanicista, su hipótesis contenía también defectos de principio que desvalorizaban su positivo contenido crítico.

Al igual que los representantes de la teoría criticada por él, Boltzmann aplicaba la segunda ley de la termodinámica a todo el universo infinito, para lo cual no hay ni fundamento lógico ni real. Al dar una interpretación estadística a dicha ley, Boltzmann no rechazó la tesis del equilibrio térmico, que consideraba justa, sino tan sólo la idea de que el universo permanecía invariable una vez que se hubiese establecido el equilibrio térmico. Más aún, aceptó que el universo se hallaba ya en dicho estado, es decir, proclamó como verdadero lo que los partidarios de dicha teoría enunciaban como posible en un futuro remoto. En general, Boltzmann negaba que el desarrollo en el universo estuviese supeditado a leyes, reduciendo el desarrollo a una suma de desviaciones casuales respecto del estado general del equilibrio térmico.

Debido a estos defectos de principio, la hipótesis de Boltzmann no refutó la teoría de la muerte térmica del universo, sino que fue, en realidad, una segunda fase en el desarrollo de esa teoría. Si en la primera fase de la teoría mencionada se excluían toda clase de cambios una vez que el universo hubiese alcanzado el equilibrio termodinámico, en la segunda, por el contrario, se admitían, en principio, dichos cambios, pero en forma de fluctuaciones sobre el fondo general del equilibrio térmico.

En ambos casos la segunda ley de la termodinámica se consideraba absoluta y se admitía como principio universal que caracterizaba todas las formas de movimiento de la materia. La física clásica comprendía así esta ley porque sus concepciones sobre la estructura de la materia eran metafísicas. Muchos físicos, al suponer que la materia estaba constituida por átomos sin estructura, dotados solamente de movimiento mecánico, consideraban que tan pronto como se estableciese el equilibrio termodinámico tendría que cesar toda modificación activa en la naturaleza.

La extensión de la segunda ley de la termodinámica a todo el universo se argumentaba con las siguientes considera-

ciones: como el universo es infinito y es el único sistema existente, puede considerarse como cerrado en sí mismo y, por consiguiente, supeditado a la ley del aumento de la entropía. Anteriormente hemos demostrado que semejante argumentación es totalmetne injustificada, ya que el concepto de cerrado es inaplicable a sistemas sujetos a cambios infinitos. En virtud de ello, el equilibrio estadístico resulta imposible por principio.

Pero no se trata sólo de eso. Incluso si existiesen sistemas cósmicos cerrados, tampoco podría establecerse en ellos el equilibrio térmico que excluye plenamente el cambio de la materia en el sistema dado —siempre que sus dimensiones fuesen suficientemente grandes—. Esto se debe a que en la naturaleza existen procesos que limitan la acción de la segunda ley de la termodinámica.

Supongamos que existe un sistema cósmico de dimensiones bastante grandes, cuyo espacio posea una curvatura positiva.[18] Un sistema semejante guarda parecido con el mundo cerrado de Einstein, donde la mayor parte de las radiaciones electromagnéticas no salen de los límites del sistema. ¿Llegará ese sistema en su desarrollo a un estado de equilibrio estadístico? De ningún modo. Incluso si suponemos que las velocidades de movimiento de las moléculas y de los átomos se nivelen, tampoco desaparecerán las formas de movimiento relacionadas con la estructura de las microparticulas dadas. Existirán, ante todo, las interacciones gravitacionales, propias de todas las formas de materia conocidas hasta ahora. Se conservarán los procesos electromagnéticos e internucleares, cuya aniquilación es imposible por principio. Esto se refiere, en primer lugar, a las formas de movimiento que existen en la estructura de las propias partículas elementales y condicionan sus propiedades. Todos esos procesos interactuarán constantemente entre sí, provocando cambios incesantes y sujetos a leyes en el sistema. Como la

[18] Para mayor detalle consúltese la obra de S. Mellujin, *El problema de lo finito y lo infinito*, Editorial Grijalbo, México, D. F., 1960, págs. 250-264.

materia es inagotable en su estructura, la multitud de sus posibles estados y procesos internos es infinita y no podrá realizarse en ningún período de tiempo. Por mucho que exista la naturaleza, siempre habrá posibilidades para que siga modificándose sucesivamente.

Un sistema que posea una infinita multitud de posibilidades internas de cambio puede desarrollarse en cualquier dirección. No existen para él estados finitos de mayor probabilidad. Las direcciones concretas de su desarrollo estarán determinadas por las condiciones externas existentes, pero el desarrollo será inagotable en todos los casos. Con relación a un sistema así resulta inaplicable el concepto de estado de mayor probabilidad en el sentido del equilibrio termodinámico, ya que para él tendrá la misma probabilidad cualquier clase de estado. El infinito universo es un sistema o, mejor dicho, un conjunto de sistemas de ese género, precisamente.[16] Cualquiera que sea el estado del universo que examinemos, siempre se podrá indicar una multitud de estados completamente distintos que gozan de las mismas probabilidades de realización. Gracias a ello, el estado de equilibrio térmico viene a ser imposible por principio para el universo, y la deducción de que es inevitable se basa en una falsa idea sobre el universo como de un sistema con un número finito de posibles estados internos.

Examinemos ahora concretamente los procesos que se oponen al advenimiento del equilibrio térmico, condicionando la eternidad del desarrollo de la materia en la naturaleza. El problema fundamental en este caso consiste en saber de qué modo retorna al desarrollo general de la materia el calor irradiado por las estrellas y otros cuerpos en el curso de su evolución, de si la radiación de las ondas electromagnéticas constituye un proceso irreversible o si todos los campos electromagnéticos radiados son absorbidos, en fin de cuentas, por las partículas de la sustancia.

[16] El acierto de dicha deducción fue demostrado anteriormente por I. R. Plotkin en la *Revista de Física Experimental y Teórica*, t. 2, pág. 14, 1930 (en ruso).

Para explicar la infinitud del desarrollo es preciso, evidentemente, reconocer tan sólo la segunda posibilidad, ya que la admisión de la primera nos conduciría a contradicciones insuperables. La dispersión constante e irreversible de la radiación electromagnética en el universo sería posible en dos casos: 1) si el universo fuese una isla de materia en medio de un infinito espacio vacío, y 2) si el universo tuviese una estructura jerárquica y la densidad de la materia tendiese constantemente a cero al tiempo al aumentar las dimensiones del sistema; en este caso, es decir, con el aumento de las escalas, también tendería a cero la absorción de las radiaciones.

Sin embargo, el universo no puede tener una estructura semejante. En ambos casos la densidad media de la materia tendría que ser igual a cero, cosa totalmente inaceptable, ya que entonces no podrían existir ni el espacio ni el tiempo, que son los atributos más importantes de la materia y que sin ella no poseen ninguna realidad. Las leyes objetivas de la interacción de los cuerpos excluyen la posibilidad de una estructura jerárquica del universo, ya que en él no se cumpliría el criterio de la estabilidad de los sistemas. Por ello, a partir de algunas escalas bastante grandes, debe tener lugar una distribución más o menos homogénea de la materia. Con una distribución así, toda la radiación sería absorbida inevitablemente, tarde o temprano, por la materia. Si la masa total general de los sistemas, que se hallan en cierta región del espacio, es suficientemente grande, su campo gravitacional resultará tan potente que podrá mantener en los límites de la región dada la mayor parte de la radiación de las estrellas, hasta que sea absorbida por la materia difusa. Un sistema de ese género poseería una curvatura positiva del espacio, a semejanza del mundo cerrado de Einstein, con la diferencia esencial, sin embargo, de que en el universo real el número de esos mundos debe ser infinitamente grande. Es de suponer que los vínculos entre ellos no sólo se establecen a través del campo electromagnético y gravi-

tacional, sino también con la ayuda de otras fuerzas de naturaleza por ahora desconocidas.

La absorción de las radiaciones por la materia se desprende, lógicamente, de las leyes del movimiento de la materia, y por ello han de existir indudablemente. Si en la naturaleza se verificase tan sólo el tránsito de la sustancia corpórea en radiación, hace ya tiempo que en el mundo no habría esta sustancia, sino radiación únicamente. Como eso no ha ocurrido, cabe sacar de este hecho dos deducciones posibles, en el caso de atenernos a la opinión de que la conversión de la sustancia corpórea en radiación es irreversible: 1) o reconocer que el mundo es la obra de un creador sobrenatural, o 2) admitir, sin recurrir a la idea de la creación, que la materia existente hoy día ha surgido por sí misma en una etapa determinada del desarrollo de una materia completamente distinta. En este caso, las formas existentes de la materia son temporales; con el paso del tiempo toda la materia se transformará en radiación y el mundo pasará a un estado distinto de principio.

La primera deducción es evidentemente inaceptable, ya que no sale del marco religioso. La segunda no nos conduce, en principio, a la religión, pero no descansa sobre unas bases científico-naturales. Más aún, contradice todas las leyes de la naturaleza conocidas y los hechos observados. Si la materia se transformase irreversiblemente y en todas partes en radiación, cualquier región del espacio sería una fuente de ondas electromagnéticas. Pero como el universo es infinito, cualquier sector del mismo tendría que tener la misma luminosidad que el Sol. Mas esto contradice todos los hechos observados, de lo cual se desprende que en la naturaleza existen procesos inversos de transformación de radiaciones en sustancia corpórea.

De por sí la posibilidad de semejante transformación no supone nada que sea antinatural. Hoy día se conocen procesos de conversión de fotones de gran energía en pares de electrón-positrón, así como en otras micropartículas. En prin-

cipio son posibles las transformaciones con fotones de menor energía. Esto se deduce del hecho de la diferencia relativa entre la sustancia corpórea y el campo electromagnético. La oposición de campo y cuerpo es totalmente relativa y resulta posible en el plano solamente de la concepción macroscópica del mundo. Pero en el plano de la microestructura, la propia sustancia corpórea viene a ser un conjunto de partículas y campos con una masa en reposo finita y nula. Los campos electromagnéticos y gravitacionales ocupan en cualquier cuerpo la parte fundamental del espacio, mientras que a las micropartículas les corresponde, aproximadamente, un 10^{-18} de todo el volumen del cuerpo. Los campos asocian a las micropartículas en sistemas y se encuentran en dichos sistemas en estado "encadenado". Durante las radiaciones, condicionadas por los cambios en la estructura de los microobjetos, los campos pasan a estados "libres". Su absorción por la sustancia corpórea equivale a su retorno al estado "encadenado".

Es cierto que durante toda radiación una parte considerable de energía vuelve a radiarse por el cuerpo al espacio; sin embargo, un determinado porcentaje de energía es absorbido irreversiblemente por el cuerpo, lo que equivale al paso de los campos correspondientes al estado "encadenado". En un espacio que comprende una cantidad suficientemente grande de sustancia corpórea toda la radiación ha de ser absorbida, en fin de cuentas, al incorporarse a un nuevo ciclo de desarrollo. ¿De qué modo, pues, se verificará ese desarrollo?

Si la masa de las nebulosas difusas es suficientemente grande, la energía de las conexiones gravitacionales entre sus elementos componentes puede superar la propia energía cinética de cada elemento y la energía de las acciones exteriores. En este caso, la nebulosa dada será estable contra la acción de las fuerzas exteriores y empezará a comprimirse.

Al comprimirse, la energía de los vínculos gravitacionales se transformará en calor y se producirá el autocalenta-

miento de la nebulosa. Cuando la temperatura alcance varios millones de grados y la presión sea de 10^8 km/cm^2, se harán factibles las frecuentes aproximaciones de protones y neutrones hasta las regiones de acción de las fuerzas nucleares y comenzará una intensa reacción termonuclear. La emisión de energía puede ser tan intensa en este caso que todo el sistema acabe por desintegrarse en un grupo de estrellas, en las cuales se establecería un equilibrio entre la presión de los rayos y las fuerzas gravitacionales. Entonces se iniciará un nuevo ciclo de desarrollo de la materia en los sistemas estelares.

No resulta difícil percatarse que en esos procesos la esfera de acción de la segunda ley de la termodinámica se limita a costa de otras leyes que condicionan el desarrollo de la materia. Dicha ley no caracteriza todas las formas de movimiento, sino sólo aquellas que están relacionadas con las transformaciones del calor. No se propaga a procesos gravitacionales, nucleares ni, en gran medida, a los electromagnéticos, y, sin embargo, son ellos precisamente los que determinan la concentración de la materia difusa y su incorporación a nuevos ciclos de desarrollo.

Se había observado hace ya tiempo que la segunda ley de la termodinámica no se aplica al movimiento browniano, que no manifiesta ninguna tendencia a la interrupción. Es inaplicable a otros microprocesos, donde es posible la transmisión de energía por cuantos de sistemas de energía interna menor a sistemas de mayor energía. Por ello no puede considerársele una ley tan universal como lo es, por ejemplo, la ley de la conservación de la energía que actúa en todos los procesos sin excepción, tanto singulares como masivos.

La segunda ley de la termodinámica rige sólo en la esfera de la conversión de la forma térmica del movimiento. Según esta ley, en todos los procesos térmicos es posible el paso del calor de cuerpos más calientes a cuerpos menos calientes, pero no al contrario. Sin embargo, dicha ley no toma en cuenta la posibilidad de que el calor se origine a

expensas de procesos no térmicos; por ejemplo, a costa de la compresión gravitacional del sistema y la aparición en él de reacciones termonucleares. Estos últimos procesos se subordinan a otras leyes: las interatómicas. Pero una vez surgido un sistema dotado de energía térmica, su evolución ulterior estará supeditada en grado considerable a la segunda ley de la termodinámica. En un sistema de ese género aumentará constantemente la entropía; pero no alcanzará su valor máximo, pues no se trata de un sistema cerrado y la materia que lo compone se dispersa en el espacio hasta que el sistema, finalmente, deje de existir. Sin embargo, la materia dispersa no se hallará en equilibrio estadístico y con el tiempo empezará a concentrarse por la acción de las fuerzas gravitacionales. La compresión del sistema produce su calentamiento y la aparición —siempre que tenga una masa suficientemente grande— de reacciones termonucleares, empezando de nuevo el ciclo de desarrollo. De este modo, pese al aumento de la entropía en cada sistema finito, el mundo, en su conjunto, no tenderá al equilibrio estadístico, debido a lo cual el concepto del valor máximo de la entropía resulta completamente inaplicable con relación al mundo.

Sin embargo, cabe plantear en este caso las siguientes preguntas: ¿No se limitarán esos ciclos de desarrollo a las reservas de hidrógeno en el universo? ¿No llegará un momento en que la mayor parte de todo el hidrógeno se convierta en elementos pesados y medios, incapaces ya para las reacciones nucleares? En ese caso se habría producido una distribución uniforme en el espacio de la energía de radiación y de los núcleos atómicos y el mundo pasaría a un estado de equilibrio térmico, según lo enunciado por la segunda ley de la termodinámica. Para que ese estado no se produzca es evidente que en la naturaleza tendrán que verificarse procesos inversos de desintegración de los núcleos en protones y neutrones, que son la fuente de la regeneración del hidrógeno. Estos procesos han de poseer una gran energía, ya que los protones y los neutrones tienen una conexión

de extraordinaria solidez en los núcleos de los elementos estables.

La ciencia actual proporciona, por ahora, muy pocos datos concretos para resolver ese problema, pero, sin embargo, señala la existencia de algunos procesos en la naturaleza que pueden condicionar, por lo menos en parte, la renovación de las reservas de hidrógeno. Uno de ellos está relacionado con la acción de las radiaciones cósmicas. En los rayos cósmicos primarios las partículas poseen una energía muy grande, igual por término medio a 10^{10} - 10^{11} electrón-voltios. Una partícula de esa energía, al chocar con el núcleo atómico de un elemento medio, puede provocar su desintegración en protones y neutrones. ¿Es grande la probabilidad de semejantes desintegraciones en el espacio cósmico?

Las últimas observaciones verificadas con ayuda de los satélites artificiales de la Tierra demuestran que más allá de los límites de la atmósfera cae sobre 1 cm^2 de superficie, por término medio, una partícula por segundo. Supongamos que en el espacio cósmico la intensidad de la radiación cósmica no varía. Si un torrente de esa intensidad atraviesa una nube de materia difusa con una densidad de 10^{-19} g/cm^3, cada núcleo tiene una probabilidad de desintegración cada 10^{19} de segundo, aproximadamente, es decir, en trescientos mil millones de años. Con una densidad mayor de radiación y de materia difusa, la probabilidad de desintegración aumenta de un modo correspondiente.

Pero los rayos cósmicos no son el único factor que asegura la regeneración del hidrógeno, ya que su energía es mucho menor que la energía de las reacciones termonucleares en las estrellas que determinan la síntesis de los elementos. Además de los rayos cósmicos, en la naturaleza existen otros procesos que provocan la desintegración de los núcleos en nucleones. Dichos procesos también están ligados a las interacciones gravitacionales de los cuerpos.

Para representarnos su esencia, supongamos que en alguna región del espacio se han agotado las reservas fundamen-

tales de hidrógeno y existen tan sólo elementos medios y pesados, incapaces de ciertos tipos de reacciones termonucleares. ¿El desarrollo de la materia en esas regiones del espacio tenderá al establecimiento del equilibrio estadístico? Puede no desarrollarse de ese modo. Si la masa total de la materia en la región dada es bastante grande, empezará su concentración gravitacional en formaciones más compactas. En una nube de hidrógeno, la masa crítica necesaria para el comienzo de las reacciones termonucleares es, aproximadamente, 0.02 de la masa del Sol. En el caso de elementos pesados y medios, dicha masa resultará completamente insuficiente para el desarrollo de las reacciones nucleares. Por eso un cuerpo con una masa así no será estrella.

Sin embargo, cuando en el espacio circundante hay mucha materia difusa, nada podrá impedir que el cuerpo dado aumente constantemente su masa a costa de la absorción de esa materia. En fin de cuentas, la masa del cuerpo puede llegar a ser tan grande, que en su interior se originarán presiones de billones de kilos por centímetro cuadrado y una temperatura de miles de millones de grados. Hoy día no se sabe aún cómo reaccionará la materia en esas condiciones.

Pero es muy posible que el constante aumento cuantitativo de la temperatura y la presión en las profundidades del sistema conduzcan, en un momento determinado, a una brusca transformación cualitativa de los procesos físicos y a cambios tan intensos en la microestructura de los núcleos y de las partículas elementales que todo el sistema acabará estallando con fuerza descomunal. Durante la explosión se liberará una cantidad tan grande de energía que los núcleos podrán desintegrarse en protones y neutrones. Si con la explosión de las estrellas supernovas se hace posible la síntesis de núcleos complejos a base de los simples, en una explosión con una energía superior en miles de millones de veces a la energía de la explosión de una supernova puede producirse el proceso inverso de desintegración de núcleos en partículas elementales.

¿No será la supuesta expansión de la metagalaxia una consecuencia de semejante explosión? En este caso no tendría que efectuarse la síntesis de los elementos, según afirman Alpher, Bethe y Gamow, sino su desintegración. La formación de elementos pesados y medios debe producirse con una explosión de energía mucho menor, del tipo de las explosiones de las estrellas supernovas. No se pueden aducir, por ahora, datos concretos para argumentar las consideraciones citadas, y por ello todo lo expuesto más arriba no pasa de ser una hipótesis. Pero no puede dudarse de que la interacción del campo gravitacional, electromagnético y nuclear constituye uno de los factores fundamentales que condicionan la eternidad del desarrollo de la materia en el cosmos.

Para completar lo dicho debemos señalar una posibilidad más de regeneración de hidrógeno. En relación con el descubrimiento de una gran cantidad de antipartículas se hace sumamente probable la hipótesis del antimundo.

En la naturaleza existen posiblemente infinitos sistemas cósmicos compuestos de antipartículas. En las regiones del contacto recíproco de la materia corriente con la antimateria las partículas y las antipartículas se transforman en radiación, al tiempo que se libera una inmensa energía. Esa energía bastará para desintegrar cualquier clase de núcleos atómicos, y de este modo la interacción de los contrarios puede considerarse como la verdadera fuente del indestructible autodesarrollo de la materia.

Generalizando lo dicho, cabe hacer la deducción de que el advenimiento del equilibrio térmico en el mundo es imposible por principio, ya que:

1) El universo es infinito en el espacio y constituye un conjunto de sistemas no cerrados.

2) La multitud de todos los estados posibles de la materia es infinita y no puede realizarse en un período de tiempo por muy grande que se quiera; por ello, el concepto de estado de máxima probabilidad se identifica con el valor

máximo de la entropía, que es totalmente inaplicable al universo en su conjunto.

3) En la naturaleza existen procesos que limitan la esfera de acción de la segunda ley de la termodinámica y condicionan la aparición del calor a costa de formas de movimiento cualitativamente distintas.

4) Es posible la ilimitada regeneración del hidrógeno como resultado de la interacción y las conversiones de diversas partículas y campos.

En relación con lo dicho, hemos de subrayar que la entropía no puede considerarse como la medida de probabilidad de cualquier estado, como se ha afirmado en algunos trabajos. El concepto de probabilidad es mucho más amplio que el de entropía. La entropía no caracteriza cualquier forma de movimiento, sino sólo la térmica, y por ello ha de considerarse como una medida de probabilidad del *estado termodinámico*.[11]

Las medidas de probabilidad de otras formas de movimiento, el electromagnético, gravitacional, nuclear, químico, biológico, etc., han de ser completamente distintas. Por tanto, el estado más probable en estos casos no será un estado de máxima desorganización y equilibrio, como en los procesos térmicos de los sistemas cerrados, sino un estado de movimiento regulado que hace posible la aparición, sujeta a leyes, de unas formas de la materia a partir de otras, en particular la formación de sistemas más complejos de otros menos complejos. Esta formación se produce siempre que se dan para ello las condiciones correspondientes. Teniendo esto en cuenta, resulta preciso formular para la física y la

[11] Queremos subrayar que en cibernética el concepto de entropía se emplea en un sentido algo distinto que en la termodinámica. En cibernética es la medida de la cantidad de canales diversos empleados en la transmisión de información. Esta definición de la entropía se basa en la analogía entre su definición física como función proporcional al logaritmo de la probabilidad del estado del sistema $S = k\ln w$ (k es la constante de Boltzmann) y la expresión de la cantidad de informaciones, que también viene a ser proporcional al logaritmo de la probabilidad de variaciones de la información transmitida. En el trabajo presente nos referimos sólo al concepto físico de entropía.

astronomía modernas un principio totalmente nuevo: el *principio del desarrollo y la integración de la materia.*

Hasta hace poco la idea del desarrollo se aplicaba, principalmente, en biología y sociología. En física y astronomía se le prestaba poca atención, debido, sobre todo, a la limitación de los datos experimentales. La mayoría de las leyes formuladas en estas ciencias en forma de proporciones matemáticas expresan, bien el vínculo entre propiedades coexistentes de los cuerpos, o bien estados provisionales de los sistemas en determinadas condiciones. Algunas de las leyes establecidas como, por ejemplo, el segundo principio de la termodinámica, subrayaban el carácter universal de los procesos de desorganización y desintegración contrarios al desarrollo.

Hoy día se ha reunido una cantidad bastante considerable de material experimental o, mejor dicho, de observaciones que representan los diversos rasgos del desarrollo de la materia inorgánica. Debido a ello, se impone decididamente la tarea de formular el principio del desarrollo en la naturaleza inorgánica, no sólo en su aspecto cualitativo general, sino también en forma de un determinado sistema de relaciones matemáticas. Dicho principio ha de tomar en cuenta las leyes dialécticas del desarrollo y proporcionar un cuadro más o menos exacto del modo como se efectúa la concentración inversa de la materia difusa y su inclusión en un nuevo ciclo de desarrollo. En el futuro, a medida que ese principio se vaya elaborando, tendrán que formularse las leyes matemáticas del desarrollo de sistemas de diverso orden y los posibles caminos del tránsito de la materia inorgánica a la orgánica, capaz de percibir y pensar.

CAPITULO V

RELACION CAUSAL ENTRE LOS FENOMENOS EN EL DESARROLLO

1. Formas principales de las relaciones causales

Para comprender el proceso del desarrollo en la naturaleza tiene gran importancia poner de manifiesto el vínculo que une los estados anteriores de los sistemas con sus estados posteriores. ¿Cabe decir que los estados anteriores y las leyes que regulan el desarrollo del sistema determinan por entero sus estados y leyes del desarrollo en el futuro? ¿Podemos decir que el estado futuro está implícito en el presente y el presente en el futuro? Dicho de otro modo, hemos de ver si existe alguna relación causal equivalente entre cualquier estado dado del sistema y sus estados posteriores y si pueden determinarse, en principio, a base de todas las relaciones que se conozcan en el presente los posibles efectos para un futuro todo lo alejado que se quiera.

Todas estas preguntas y otras análogas han surgido ya en el marco de la filosofía antigua y se siguen discutiendo constantemente desde entonces. Su comprensión racional exige, ante todo, que se conozcan las interrelaciones entre la causa y el efecto, la casualidad y la necesidad, la posibilidad y la realidad en el desarrollo. Examinemos, primeramente, la correlación entre la causa y el efecto.

En el mundo existe una concatenación universal entre los objetos y los fenómenos, su universal interacción recíproca. Pero para investigar los fenómenos en sus detalles, los debemos estudiar por separado, en su continuidad espacial y temporal. En este caso, los fenómenos se manifiestan unos

con relación a otros como causa y efecto. Los conceptos de causa y efecto surgen, de este modo, sobre la base de la práctica.

La división de los fenómenos en causas y efectos es relativa y se determina enteramente por el carácter de las conexiones de los objetos materiales. Esto significa que un fenómeno determinado se manifiesta, bien sólo como causa, bien sólo como efecto en las relaciones dadas, pero nunca en general. Si el fenómeno dado se examina desde el punto de vista de sus vínculos universales, se manifestará simultáneamente como causa y como efecto, pero en distintas relaciones. Será efecto con respecto a los fenómenos que le han antecedido y lo han producido, y causa con relación a los fenómenos por él suscitados. En el marco de un mismo sistema las interrelaciones entre la causa y el efecto son plenamente equivalentes: la causa siempre antecede al efecto.

El vínculo causal presupone la interdependencia *orgánica* de los fenómenos. No basta en este caso la simple sucesión en el tiempo. Eso quiere decir que si un fenómeno acontece después de otro, no es obligatorio que sea su efecto. Puede serlo, pero también puede no serlo. El juicio según el cual "después de eso significa a consecuencia de eso" no constituye una regla ineludible. Puede ser correcto, y también puede ser erróneo. Si un fenómeno se produce como efecto de otro, es evidente de todo punto que sucede después de él. Pero la simple sucesión en el tiempo no presupone de por sí una conexión causal, ya que ésta constituye una forma de interdependencia de los fenómenos en la cual la aparición de unos fenómenos depende orgánicamente de la realización de otros y es imposible por principio sin ellos.

Las relaciones recíprocas entre causa y efecto se expresan en el principio de causalidad. Este último afirma que no hay efecto sin causa y que si en diversas regiones del espacio y en momentos distintos de tiempo se han creado dos sistemas materiales en iguales condiciones primarias y con las mismas fuerzas motrices, el curso de esos procesos

conducirá a los mismos resultados. El principio de la causalidad puede expresarse con mayor detalle y exactitud en las cuatro tesis siguientes:

1. No hay efecto sin causa ni causa sin efecto.

2. Todo fenómeno puede ser efecto de toda la cantidad de causas que se quieran y causa de toda la cantidad de efectos que se quieran, por grandes que sean.

3. Muchas causas iguales (semejantes), que representan las conexiones internas y externas de los sistemas, la estructura del espacio y el tiempo, las leyes vigentes, originan en su desarrollo multitud de efectos iguales (semejantes).

4. Durante el desarrollo no sólo se realizan o desenvuelven los vínculos causales implícitos en los estados anteriores del sistema, sino que se crean vínculos causales nuevos por principio, no implícitos en los remotos estados anteriores, sino originados como una tendencia de estados nuevos.

La tesis 1 viene a ser una deducción natural del principio de la *conservación de la materia* y de sus propiedades fundamentales, pues afirma que cualquier fenómeno, por insignificante que sea, no puede originarse de la nada, sino que tiene necesariamente su causa. Tampoco puede desaparecer sin dejar huella, convertirse en nada, sino que provocará el efecto que le corresponde.

La tesis 2 se desprende del *principio de la inagotabilidad* de la materia. Si nos planteamos como objetivo estudiar todas las causas de algún fenómeno, tendremos que descomponerle en sus partes integrantes elementales, es decir, investigar las causas del movimiento de cada molécula, átomo, partícula elemental que forma parte del sistema examinado. En este caso, el número de esas causas será infinitamente grande, por muy insignificante que sea el propio fenómeno. Del mismo modo cualquier fenómeno provocará una infinita multitud de efectos que caracterizan las conexiones internas y externas de los objetos materiales. Dicha ley

puede expresarse gráficamente en forma de una infinita multitud de líneas, que se cruzan en un punto. El punto en cuestión será el fenómeno; las líneas que penetran en él, las causas, y las que salen de él, los efectos. La infinita multitud de líneas está determinada por la inagotabilidad cuantitativa y cualitativa de la materia.

La tesis 3 viene a ser una conclusión natural del *principio de la unidad del mundo,* que afirma que en la naturaleza, pese a la diversidad cualitativa de las leyes de movimiento de la materia, existen leyes únicas de valor universal. Dicha tesis constituye la base del método de la analogía y modelación que se utiliza ampliamente en diversas esferas de la ciencia y la técnica. Y, finalmente, la tesis 4 se deduce del *principio del desarrollo de la materia.* Caracteriza la reciprocidad de relaciones entre la causa y el efecto y entre la posibilidad y la realidad en el desarollo.

Examinemos ahora las formas más importantes de los nexos causales. Hemos de señalar, ante todo, que los vínculos causales pueden ser *físicos y no físicos.* Incluimos entre los físicos todos los casos de interacciones de los objetos materiales a través de campos de fuerza o por medio del contacto directo. Los nexos causales no físicos son las diversas relaciones biológicas y sociales, por ejemplo, de producción, interestatales, nacionales, etc. El límite entre esos dos tipos de vinculación es relativo y no puede considerarse como absoluto. Las acciones no físicas pueden ser la causa de los cambios en el estado físico del sistema.

Sin embargo, los estímulos no físicos sólo provocan cambios en el estado físico de aquellos objetos que son capaces de percibirlos. En cambio, los estímulos físicos pueden provocar el cambio en el estado de todos los sistemas materiales.

Los nexos causales pueden ser *internos* y *externos.* Los internos comprenden todos los tipos de conexiones entre los elementos componentes de un sistema material concreto, mientras que los exteriores son los nexos que existen entre el sistema dado y los sistemas circundantes. Esta división de

los nexos en internos y externos es relativa, pues está determinada por el carácter de los sistemas: los nexos internos para un sistema dado pueden ser externos para los subsistemas que lo constituyen, y viceversa. No obstante, se trata de una división objetiva, lo mismo que es objetiva la formación de sistemas de diverso orden.

Finalmente, los nexos causales pueden ser *esenciales* e *inesenciales, causales* y *necesarios.*

Son esenciales los que determinan de un modo radical las propiedades y las leyes fundamentales de un sistema material, mientras que los inesenciales no poseen semejante particularidad. Los nexos esenciales son, por regla general, necesarios, y los inesenciales, casuales, aunque esto no siempre es así. La división de los vínculos en esos dos grupos no debe elevarse al plano de lo absoluto, ya que los nexos que en un sistema son casuales e inesenciales pueden ser esenciales y necesarios en otro. Esta tesis tiene tanta importancia que hemos de detenernos en ella con mayor detalle.

Suele ocurrir que los sucesos necesarios y los casuales se delimitan rigurosamente y se anteponen unos a otros. Se considera que un hecho puede ser o bien casual o bien necesario, pero no lo uno y lo otro simultáneamente. Semejante oposición de la casualidad y la necesidad ha conducido siempre, en la historia, a dos concepciones fundamentalmente erróneas: bien se consideraba absoluta la casualidad, bien la necesidad. Los partidarios del primer punto de vista lo argumentaban con los siguientes razonamientos. Si tomamos algún fenómeno y nos planteamos como objetivo estudiar todas sus causas, tendremos que descomponerlo en sus partes elementales componentes, cuyo número puede ser todo lo grande que se quiera. En los fenómenos de la naturaleza tendremos que analizar la historia del movimiento de cada molécula del cuerpo, de cada átomo, etc., y en los fenómenos sociales, la multitud de causas que han impulsado a los hombres a tomar una u otra decisión.

Pero en este caso cualquier fenómeno estaría condicio-

nado por una inmensa cantidad de casualidades y se manifestaría en forma de su resultante. Todos los fenómenos, grandes o pequeños, estarán basados en la casualidad. Ningún suceso concreto puede considerarse como totalmente necesario, ya que si consiguiéramos conocer todas sus causas casuales, tendríamos que reconocer que su realización depende de un cierto grado de probabilidad, que varía a tenor de las circunstancias. Es cierto que en el caso de acontecimientos grandes y fidedignos esa probabilidad puede aproximarse a uno, pero jamás será igual a uno, ya que siempre pueden surgir factores exteriores imprevistos que impidan la realización de los sucesos dados. Así, todo depende de la casualidad, y la historia se asemeja a una gigantesca lotería donde cada acontecimiento es individual y único.

Los autores que sustentan un punto de vista opuesto consideran que en el mundo todo es necesario. Sus razonamientos se basan en las siguientes consideraciones. Si un fenómeno ha tenido lugar y pasó a ser patrimonio de la historia, el propio hecho de su realización demuestra el condicionamiento causal y con ello su necesidad, ya que si no fuese necesario no habría sucedido. Lo que llamamos casualidad es, en realidad, la necesidad no conocida. El conocimiento de las causas de esa casualidad revela su dependencia de otros fenómenos y con lo mismo la hace necesaria. Objetivamente ha sido necesidad aun antes de que se conociesen sus causas. De este modo, la necesidad se identificaba con el condicionamiento causal.

Las dos concepciones citadas reflejaban correctamente algunos aspectos de la casualidad y la necesidad, pero las consideraban absolutas, debido a lo cual llegaban a consecuencias erróneas. El considerar como absolutas las casualidades conducía a la negación de las leyes objetivas de la naturaleza. Toda ley expresa el vínculo estable, *necesario* y esencial entre los fenómenos, y si objetivamente no hay necesidad, no puede haber tampoco ninguna ley de la naturaleza. Pero esta tesis está en contradicción con toda la

práctica social e histórica de la Humanidad y por ello debe ser rechazada.

Por otra parte, el considerar como absoluta la necesidad conduce al fatalismo, a la idea de la predeterminación eterna de todo lo existente. Toda clase de sucesos, por insignificantes que sean, son, según ese punto de vista, totalmente inevitables, con la particularidad de que la necesidad de su realización estaba implícita en los remotos estados anteriores, todo lo lejanos que se quieran, y su realización ha de ser así, precisamente, y no de otro modo. Semejante concepción se distingue muy poco de la idea de la predeterminación divina, aunque desde el punto de vista formal puede estar exenta de tesis religiosas. Además, si consideramos que toda clase de sucesos, incluso los más insignificantes, son tan necesarios como los de escala grandiosa, no elevamos la casualidad al nivel de la necesidad, sino, por el contrario, rebajamos la necesidad al nivel de la escueta casualidad.

El error fundamental de estos dos puntos de vista radica en la injutificada anteposición de la casualidad y la necesidad. Ambas categorías están, sin embargo, indisolublemente vinculadas entre sí, ya que un mismo fenómeno puede ser casual y necesario, pero en diversos vínculos y relaciones.

En efecto, la casualidad es un suceso que expresa los nexos temporales, inestables e inesenciales de los cuerpos; un suceso que en las condiciones dadas puede ocurrir o no, y que depende de las cambiantes relaciones causales del sistema. La necesidad, por el contrario, es un suceso o varios sucesos que representan los vínculos constantes, estables y esenciales de los cuerpos y deben realizarse obligatoriamente en las condiciones dadas. Ahora bien, la división de los nexos en esenciales e inesenciales es relativa: los nexos que son inesenciales para un sistema grande, pueden ser esenciales para un sistema de orden menor que integra el primero en calidad de elemento componente. Por ello también un acontecimiento casual en el marco de un sistema grande puede ser necesario en los límites de un sistema menor. Por ejem-

plo, si poseemos un trozo de sustancia radiactiva, en el cual se desintegra cada segundo un millón de átomos, la desintegración de *uno* u *otro* átomo será un hecho casual en el ámbito de ese sistema macroscópico concreto, pues podría haber sido no ese átomo, sino otro cualquiera. Pero dentro de un sistema de orden menor —un núcleo—, la desintegración no será un suceso casual, sino necesario, y un suceso así podría predecirse, en principio, si se conociese la estructura de cada núcleo y se tuviese exactamente en cuenta el carácter de las conexiones entre los protones y los neutrones.

Por otra parte, puede ocurrir también que un suceso casual en un sistema menor sea necesario en un sistema de orden mayor. Por ejemplo, la incidencia del electrón sobre un *determinado* sector de la pantalla después de su dispersión a través de la red de difracción es un suceso casual. Pero una multitud de electrones, al pasar por la reja de difracción, producen en la pantalla un cuadro de interferencia sujeto totalmente a leyes; así, pues, el suceso casual que habíamos señalado antes viene a ser la forma en que se manifiesta y complementa la necesidad, relacionada con un sistema de orden mayor: la multitud de electrones.

Podemos citar, asimismo, ejemplos de la vida social. El nacimiento en el seno de cualquier familia de un niño, precisamente, y no de una niña representa un hecho casual. Pero en la escala de un sistema más general, de una gran ciudad o de un país, viene a ser una manifestación de la necesidad, que consiste en que el promedio de la natalidad es de 49 por 100 de niñas y 51 por 100 de niños. Por ello, la natalidad preeminente de niños de un sexo en una familia se compensa por la correspondiente natalidad de niños de sexo contrario en otras familias.

Generalizando los ejemplos dados, cabe deducir que un acontecimiento casual en el sistema M será necesario bien en un sistema menos general $(M\text{-}K)$, bien en un sistema más general $(M+K)$. De ese modo, la división de los nexos en casuales y necesarios se determina por el carácter de los

sistemas. Si hacemos abstracción del concepto del sistema y consideramos la materia como sustancia, veremos que esa división resulta inaplicable. En este caso sería más correcto hablar de la dependencia *casual* de los fenómenos, de su subordinación a las leyes correspondientes de la interacción de los cuerpos. Por lo que se refiere a los conceptos de casual y necesario, su empleo resulta adecuado cuando el suceso en cuestión se examina en sus diversos aspectos con relación a los distintos sistemas. Con la particularidad de que la división de sucesos en casuales y necesarios será tan objetiva como lo es la división de la materia en sistemas de diverso orden. En virtud de ello, el conocimiento de las causas de la casualidad no la convierte, ni mucho menos, en necesidad, sino que sigue siendo casualidad en el *marco del sistema dado*.

La objetividad de la casualidad se debe a que siempre se manifiesta como un punto de intersección de muchas (por lo menos dos) series de sucesos necesarios. Para cada una de esas series, la aparición del suceso casual es exterior, es decir, no se deduce de las leyes internas de su desarrollo. Sin embargo, durante la intersección de las series el suceso se origina, y como el punto de intersección constituye una realidad objetiva, es también objetiva la casualidad. De aquí, sin embargo, no debe sacarse la conclusión inversa de que todo punto de intersección de series necesarias ha de ser forzosamente una casualidad. También puede ser un suceso necesario. Por ejemplo, la constante intersección de las órbitas de los planetas, que se mueven de acuerdo a una ley estrictamente determinada, no constituye un suceso casual, sino necesario, por ser reiterado y estable.

Durante el desarrollo de los fenómenos, la casualidad puede transformarse en necesidad si resulta íntimamente ligada a las condiciones que se originan en el sistema y se deduce de las leyes del desarrollo del sistema dado. Por otra parte, la necesidad puede convertirse en casualidad si desaparecen las causas constantes y esenciales que la producen.

Todo proceso de desarrollo en la naturaleza y en la sociedad se determina, ante todo, por los vínculos causales esenciales y necesarios, que son los que deben estudiarse en primer lugar. Sin embargo, en circunstancias especiales también las casualidades pueden desempeñar un gran papel y producir efectos de gran importancia. Esto se manifiesta con particular frecuencia en la esfera de los fenómenos sociales, donde el desenlace de muchos acontecimientos depende, en medida considerable, del factor subjetivo. Una causa pequeña puede provocar grandes efectos, no por sí misma, sino a *través de otras muchas* causas más potentes, a cuya aparición contribuye. Una causa pequeña conduce a grandes efectos sólo si provoca una peculiar reacción en cadena de vínculos causales, durante las cuales unas causas originan otras, cada vez más potentes, hasta que, por fin, no se produce el cambio esencial de todo el sistema. Pero si esa reacción en cadena no se produce, la causa pequeña culmina con un efecto igual de pequeño.

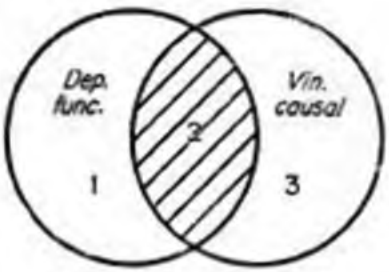
Así, pues, de los múltiples nexos causales que existen en el mundo material los fundamentales son los físicos y los no físicos, los internos y los externos, los esenciales y los inesenciales, los casuales y los necesarios. Cada una de las formas de vínculo dado puede tener el más diverso contenido concreto, en dependencia de las peculiaridades internas de los fenómenos y de las condiciones exteriores de su curso. Pero, de una u otra forma, están presentes en todos los fenómenos y determinan su desarrollo. Por ello, el conocimiento de sus interrelaciones tiene primordial importancia.

2. El problema de la descripción causal del desarrollo.

Todo fenómeno sólo puede ser comprendido correctamente cuando se conocen las causas que lo han provocado y los efectos que de él se originan. Puede haber numerosas causas y efectos que produzcan el fenómeno dado, ya que

cada uno de ellos contiene numerosos componentes elementales. Por ello resulta prácticamente imposible comprender un fenómeno hasta sus últimas razones. Pero no es obligatorio conocer todas las causas de un fenómeno; lo importante es conocer las básicas y esenciales. De hecho, la tarea se reduce a encontrar la ley que rige el fenómeno.

Al principio, la ley descubierta se formula siempre en forma cualitativa general. Pero lo ideal para cada ciencia exacta no radica solamente en la formulación cualitativa, sino también cuantitativa de la ley, es decir, el expresarla en función de su dependencia. Con relación a las leyes con-



cretas de la naturaleza, dicha tarea puede realizarse en principio, ya que esas leyes caracterizan las relaciones funcionales objetivas en los sistemas. La solución práctica de ese problema depende exclusivamente de los éxitos que se alcancen en el desarrollo de las ciencias naturales y la técnica matemática. Por consiguiente, la exacta formulación de los vínculos causales del sistema se reduce al descubrimiento de las diversas dependencias funcionales que se refieren a ese sistema. El concepto de causalidad y dependencia funcional resultan estrechamente vinculados entre sí. Sin embargo, pese a su profunda unidad interna, no coinciden plenamente. Su relación recíproca puede representarse en forma de dos círculos que se cortan mutuamente. Como vemos al lado

de la región común 2, que significa la coincidencia entre la causalidad y la dependencia funcional, existe, además, la región 1, que representa la dependencia funcional, que no es vínculo causal, y la región 3, donde el vínculo causal no es funcional.

Examinemos brevemente lo que significa cada una de esas regiones. Nos detendremos, primero, en la región 2. Esta región caracteriza todos los fenómenos donde existe un vínculo estable y legítimo entre la causa y el efecto. Con semejante vínculo el cambio de unos fenómenos, que se manifiestan como causa, provoca un cambio exactamente determinado de otros fenómenos que constituyen el efecto, de manera que sus interrelaciones se supeditan, en su conjunto, a una cierta ley funcional.

Vínculos de esta clase existen, por ejemplo, entre las micropartículas al asociarse en sistemas más complejos. De un modo análogo están relacionados entre sí los diversos órganos de un organismo vivo en el proceso de su desarrollo. En el organismo humano, por ejemplo, existe un vínculo funcional entre el funcionamiento del corazón, los pulmones, el sistema nervioso, etc. La alteración de un órgano provoca una alteración claramente determinada de otros, y por el estado de estos últimos puede juzgarse el estado del primero.

En el desarrollo de los fenómenos sociales también existen relaciones causales funcionales. Existe, por ejemplo, una conexión determinada entre el trabajo de los diversos talleres de una gran empresa, entre diversos sectores de la industria, entre el transporte y el comercio, etc. Todas estas múltiples relaciones pueden expresarse, en principio, a base de las correspondientes dependencias matemáticas, que se representarán bien en forma de leyes dinámicas o estadísticas. Las dificultades que se encuentran en la solución del problema dado son puramente técnicas, ya que, objetivamente, las leyes de los fenómenos dados poseen una determinación cuantitativa más o menos exacta y por ello pueden repre-

sentarse en forma de ecuaciones correspondientes. Hoy día, gracias al desarrollo de la cibernética, se emplean ya con éxito métodos cuantitativos para estudiar diversos aspectos de la vida social, sin hablar ya de los fenómenos de la naturaleza.

Sin embargo, no todas las dependencias funcionales que existen en el mundo material caracterizan el proceso del desarrollo o los vínculos causales en los sistemas. La ciencia actual conoce muchas relaciones funcionales que no son, ni mucho menos, causales (región 1 del gráfico). Para explicar lo dicho pasaremos a examinar ejemplos concretos. Supongamos que tenemos una figura geométrica como el círculo y que medimos su radio. En consonancia se modificará la superficie del círculo, que está relacionado con el radio por la relación $Q = \pi r^2$. En este caso, sin embargo, la superficie es una función del radio. Si partimos, sin embargo, de la fórmula dada, podemos considerar, por el contrario, que el radio es una función de la superficie:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi}}.$$

Este cambio de lugar de la función y el argumento no implica ninguna diferencia, ya que la relación entre ambos es mutuamente reversible.

De un modo análogo cabe cambiar de lugar la función y el argumento en la fórmula para la presión y el volumen del gas en un recipiente cerrado: $pv = \text{const.}$, en la ley de la proporcionalidad de la masa y la energía: $E = mc^2$, etc. Todas las descripciones obtenidas en este caso serán físicamente equivalentes.

Sin embargo, las relaciones efectivas entre la causa y el efecto son siempre irreversibles y no pueden cambiar de lugar. Si, por ejemplo, la aparición del Sol en el cielo fuese la causa de que en un lugar dado hiciese más calor, no puede decirse, de ningún modo que el aumento del calor fue la causa que originó la aparición del Sol. De aquí se dedu-

ce que todas las dependencias funcionales indicadas no son causales. Expresan el vínculo entre propiedades que siempre *coexisten* y que por ello no se encuentran en relación de causa a efecto. Para que la dependencia funcional sea, al mismo tiempo, vínculo causal, la relación entre función y argumento ha de ser irreversible. En este caso, la dependencia funcional está llamada a caracterizar el proceso del desarrollo del sistema, la aparición de unos caracteres en dependencia de la existencia de otros.

Si se consiguiera, por ejemplo, establecer una ecuación que reflejase el ciclo del desarrollo de una estrella y la aparición de algunas de sus propiedades en función de la aparición de otras, tal dependencia funcional expresaría al mismo tiempo el vínculo causal en el marco del sistema examinado. Por desgracia, la mayoría aplastante de las fórmulas conocidas hasta ahora por la física y la astronomía no expresan el proceso del desarrollo, sino sólo el vínculo entre propiedades coexistentes de los cuerpos o algunas modificaciones cíclicas de las mismas. Las relaciones entre el argumento y la función en las dependencias dadas son reversibles, de lo cual se deduce que no expresan la conexión causal. En la física y la astronomía modernas la idea del desarrollo se formula, por ahora, y en lo fundamental, en su aspecto cualitativo general. La tarea planteada ante esas ciencias es la de expresar la idea dada en las correspondientes ecuaciones matemáticas.

Sin embargo, pese a estas ventajas, los métodos de investigación cuantitativa dejan traslucir su limitación. No todos los fenómenos, ni mucho menos, que aparecen durante el desarrollo pueden expresarse por medio de las ecuaciones. En el mundo material existe un gran grupo de *vínculos causales que, objetivamente, no son funcionales* (región 3 del dibujo) y no pueden, por ello, expresarse matemáticamente. Para que se pueda expresar adecuadamente cualquier fenómeno en forma de un determinado sistema de ecuaciones es preciso que el fenómeno dado: 1) posea objetivamente una

exacta determinación cuantitativa, es decir, que esté caracterizado por parámetros y valores estables de las propiedades; 2) que se comporte como un eslabón en la cadena de los acontecimientos, relacionados entre sí de un modo equivalente y plenamente determinado, y 3) que sea masivo, estereotipado, reiterado y estable.

Siempre que se observen estas condiciones, el fenómeno, en principio, puede presentarse en forma de un sistema de ecuaciones, independientemente de la complejidad de la forma de dichas ecuaciones.

Pero en el mundo existen numerosísimos fenómenos que no responden a alguno de esos tres requerimientos o a todos ellos. Dichos fenómenos no pueden, por tanto, expresarse adecuadamente en forma de un sistema de ecuaciones. Un ejemplo de ese tipo de fenómenos lo tenemos en las leyes dialécticas.

Además, en el mundo existen numerosos fenómenos que son el resultado de una singular confluencia de circunstancias y que poseen una estricta individualidad e irrepetibilidad. Tales son, por ejemplo, todos los fenómenos que expresan la fisonomía espiritual de cada individuo, las peculiaridades de sus interrelaciones con otras personas, los acontecimientos extraordinarios de su vida, etc. Estos fenómenos tampoco pueden expresarse por medio de ecuaciones, ya que para hacer éstas es preciso que el fenómeno examinado sea estable, estereotipado y reiterativo, propiedades que en este caso no existen.

Eso no significa, sin embargo, que todos esos fenómenos sean incognoscibles. Se pueden conocer, indudablemente, a base de los métodos de descripción cualitativa; se pueden poner de manifiesto sus diversas características cuantitativas, pero todo este conjunto de conocimientos, por muy completos que sean, no será equivalente a ninguna ecuación, pues toda ecuación presupone que el fenómeno descrito pueda ser reproducido todas las veces que se quiera cuando se observen las condiciones planteadas. En el caso dado

tropezamos con un suceso individual y único, que no se presta a una reproducción total debido a la irreversibilidad del proceso del desarrollo. Por eso, toda función establecida para sucesos de semejante índole no será más que una adaptación artificiosa de una fórmula especialmente elegida para resultados conocidos de antemano. Esta función puede reflejar con acierto el vínculo entre los acontecimientos pasados, pero resulta del todo inaplicable para sucesos futuros que se produzcan independientemente de los pasados.[1]

Hemos de subrayar que los sucesos aquí examinados no son idénticos a los que se investigan en la teoría de las probabilidades, y por eso los éxitos de la teoría dada en el establecimiento de las dependencias funcionales para fenómenos casuales no constituyen una refutación de lo dicho. La teoría de las probabilidades investiga sucesos casuales *masivos* que en virtud, precisamente, de su carácter masivo, reiterado y estereotipado se supeditan a leyes estadísticas. En el caso dado nos referimos a sucesos individuales, únicos, a los cuales no puede aplicarse el concepto de probabilidad. Por ello, dichos sucesos no pueden describirse a base de las leyes estadísticas funcionales.

Así, pues, si hacemos un balance de lo dicho, hemos de tener en cuenta, además de las formas de nexos causales antes examinados, otras dos formas tan importantes como

[1] Lo dicho con relación a los límites de la descripción funcional puede tener suma importancia para determinar los posibles límites de aplicación de la cibernética. El funcionamiento de toda máquina cibernética se basa en un programa determinado que plantea un hombre u otra máquina. En la programación se prevé la formalización de los fenómenos examinados, cosa posible siempre que en los fenómenos dados se incluyan las relaciones funcionales. Por eso, las instalaciones cibernéticas se emplean con éxito para el estudio de problemas puramente matemáticos, de todas las formas de dependencia funcional, incluidas las causales (región 1 y 2 del dibujo antes reproducido), pero no nos darán una descripción algo satisfactoria de vínculos causales no funcionales que se distingan por un carácter estrictamente individual y único (región 3). En el futuro, dichos fenómenos también serán estudiándose, principalmente, por métodos cualitativos. Por esta razón, la cibernética, en su desarrollo, jamás conseguirá crear una máquina que sea superior, *en todos los sentidos*, al cerebro humano en su capacidad de reflejar la realidad, ya que el cerebro humano puede reflejar de un modo completo los vínculos causales no funcionales.

son los vínculos funcionales y no funcionales. Aunque tienen muchos rasgos comunes con el nexo necesario y causal, no son idénticos a ellos. Numerosos sucesos casuales de un mismo tipo están supeditados a las leyes estadísticas y pueden, por tanto, expresarse en forma de dependencia funcional. Por otra parte, algunos sucesos necesarios pueden ser estrictamente individuales e irrepetibles, sin ser por ello funcionales.

En particular, hay muchas conexiones causales no funcionales en la esfera de los fenómenos sociales. Esto se debe a que con el desarrollo aumenta la diversidad cualitativa de los fenómenos, gracias a lo cual se originan numerosas cualidades *individuales*. Si podemos hacer abstracción en la naturaleza de las numerosas particularidades secundarias de cada cuerpo, pertenecientes a una forma de la materia, y considerarlas todas como una cualidad única, con relación a muchos fenómenos sociales es imposible proceder de ese modo. En la sociedad, cada individuo posee sus peculiaridades individuales espirituales y físicas y representa una cualidad especial. Del mismo modo son irrepetibles los diversos acontecimientos históricos, las interrelaciones entre los diversos grupos de la sociedad en diversos períodos, etc. Debido a ello, en la sociedad, más que en cualquier otra esfera de fenómenos, están extendidas las relaciones causales no funcionales. Gracias a ello, las leyes del desarrollo se manifiestan de una forma algo distinta que en la naturaleza.

En la naturaleza, cada ley concreta se manifiesta exactamente en forma de dependencia funcional en cualquier momento de tiempo dado. Por ejemplo, si dos cuerpos se atraen mutuamente gracias a la acción de los campos gravitacionales, la fuerza de atracción entre ambos será, *en cada momento dado*, directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de distancia entre ellos.

De un modo completamente distinto se manifiestan las leyes del desarrollo social. No se realizan en cada momento

dado, sino que actúan en forma de *tendencia*, tan sólo que se va realizando a lo largo de un período bastante grande de tiempo. Por ejemplo, si tomamos la ley de la correspondencia obligada entre las fuerzas de producción y las relaciones de producción, veremos, al observar su acción, que no se realiza en cualquier momento de tiempo dado, sino que actúa en forma de tendencia solamente. Esto significa que en los diversos períodos históricos de los diversos países puede no haber correspondencia entre las fuerzas y las relaciones de producción, que pueden hallarse en estado de conflicto o, incluso, de antagonismo. Pero esta correspondencia se establece, al fin y al cabo, gracias al cambio de las relaciones de producción.

Del mismo modo, la ley del desarrollo proporcional de la economía nacional dentro de la sociedad socialista no significa que ese desarrollo proporcional existe en cada momento de tiempo dado. Puede infringirse a causa de diversos factores imprevistos, pero termina, *al fin y al cabo*, por establecerse. Lo mismo cabe decir con relación a otras leyes sociales. Con referencia a lo dicho, hemos de distinguir necesariamente las leyes como dependencias funcionales estables de las leyes que se manifiestan como tendencias. Las primeras se distinguen por su determinación cuantitativa y sus parámetros estables, mientras que las segundas no poseen estas propiedades, ya que contienen un número muy elevado de vínculos causales no funcionales.

No siempre, ni mucho menos, se reconoce la existencia de esas dos formas de leyes, y eso conduce, en ocasiones, a graves errores teóricos. Algunos sociólogos burgueses niegan la realidad objetiva de las leyes del desarrollo social diciendo que no ven en la sociedad las formas de dependencia funcional que existen en la naturaleza. Como leyes reconocen únicamente las dependencias conocidas en las ciencias naturales. Semejante negación es totalmente inaceptable, ya que nos lleva al idealismo subjetivo y contradice toda la experiencia histórica. Pero sería erróneo afirmar que las le-

yes de la sociedad actúan lo mismo que las leyes de la naturaleza. Las leyes sociales no rigen en cada momento dado de tiempo, sino que se manifiestan tan sólo en forma de tendencia. Su cumplimiento depende en mucho de la acción del factor subjetivo, que no existe en la naturaleza. Al mismo tiempo caracterizan fenómenos donde están sumamente extendidas las relaciones causales no funcionales, mientras que en la esfera de la naturaleza esas relaciones son, relativamente, muy raras.

Estas dos clases de leyes están íntimamente relacionadas con los conceptos de la ley dinámica y estadística, que tienen tanta importancia en la ciencia moderna. La ley *dinámica* es una forma de vínculo causal donde cada estado inicial del sistema determina de un modo equivalente cada uno de sus estados sucesivos, de manera que conociendo exactamente el primero puede predecirse claramente el segundo. A diferencia de eso, la ley estadística expresa una forma de vínculo causal donde cada estado inicial del sistema no determina de un modo equivalente todos los estados posteriores, sino con cierta probabilidad; probabilidad que, además, constituye la medida *objetiva* de la posible realización del futuro estado.

La ley dinámica rige en cada momento de tiempo, mientras que la estadística se manifiesta tan sólo como una tendencia que se realiza a lo largo de un determinado período de tiempo.

Tales son, por ejemplo, muchas leyes que expresan las particularidades del desarrollo de los fenómenos biológicos y sociales. También hay leyes estadísticas que rigen en cada momento dado de tiempo. Por ejemplo, si dejamos pasar simultáneamente a través de un cristal una gran cantidad de electrones, en la pantalla se originará *en el acto* un cuadro de interferencia, que se manifestará como una ley estadística, debido a las propiedades ondulatorias de las micropartículas. En los fenómenos sociales no existen leyes estadísticas que actúen en cada momento de tiempo dado. To-

das las leyes estadísticas que se manifiestan en la sociedad se realizan durante un período más o menos largo de tiempo.

Las leyes dinámicas y estadísticas guardan una estrecha relación recíproca y pueden presidir simultáneamente el desarrollo de diversos fenómenos del mundo material. Las formas más simples de las leyes dinámicas que rigen en la naturaleza inorgánica se describen por las ecuaciones de la mecánica clásica y la electrodinámica. Conociendo el estado inicial de un sistema, puede predecirse con relativa exactitud, mediante la solución de las ecuaciones dadas, su estado futuro. En la mecánica celeste se ha conseguido predecir de este modo el eclipse del Sol, de la Luna, las oposiciones de los planetas, el movimiento de los satélites artificiales de la Tierra, etc. La exactitud de esas predicciones se debe a que el sistema solar y el planetario poseen una estructura relativamente simple. El movimiento de los cuerpos dentro de esos sistemas se determina, principalmente, por las conexiones internas, y la influencia de otros cuerpos es insignificante. Pero en la naturaleza existen leyes dinámicas mucho más complejas, que por ahora no han sido expresadas matemáticamente. Tales son, por ejemplo, las leyes del desarrollo de las estrellas y las galaxias. Como cada galaxia y cada estrella constituyen un sistema relativamente autónomo, su desarrollo se determina, principalmente, por su estado inicial interno, y las leyes que rigen en este caso se aproximan a las leyes dinámicas.

En la naturaleza viva, a las leyes de tipo dinámico se supedita el desarrollo embrional del organismo. El organismo empieza a desarrollarse, a partir de la célula embrional, con caracteres biológicos estrictamente determinados, semejantes a los caracteres de sus progenitores.

Las leyes estadísticas, que expresan las relaciones causales en la esfera de los fenómenos masivos y repetidos —cada uno de los cuales puede ser casual e independiente de los demás—, también tienen el mismo carácter universal. En una masa de casualidades que poseen una determinada re-

gularidad se manifiesta siempre una cierta necesidad, que se expresa en la ley estática. Por ejemplo, en un recipiente lleno de gas cada molécula posee su propia velocidad, que puede parecer casual. Sin embargo, las velocidades de todas las moléculas, en su conjunto, se subordinan a una ley estadística que se llama la ley de distribución de Maxwell. La mayor parte de las leyes biológicas y sociales, que se originan gracias a la interacción de un gran número de fuerzas y factores, son estadísticas.

Las leyes estadísticas con sus funciones de probabilidad expresan las nuevas formas de los vínculos causales en comparación con los que se describen por las leyes dinámicas de la mecánica clásica. En las leyes dinámicas, un efecto cualquiera es producido por una pequeña cantidad de causas, que se prestan a un recuento relativamente exacto. Por ello la predicción del futuro comportamiento del sistema puede ser fidedigna en alto grado. La necesidad, en forma de la propia ley, se manifiesta a través de sucesos igual de necesarios.

Por lo que se refiere a las leyes estadísticas, un efecto puede estar condicionado por un número ilimitado de causas, que resulta imposible conocer prácticamente. La necesidad se manifiesta aquí a través del choque de una enorme cantidad de casualidades. Por eso el conocimiento de las fundamentales condiciones iniciales permite dar una explicación probable de la futura conducta del sistema, pero no una predicción exacta de la misma.

¿Demuestra esa descripción probabilística la limitación de nuestros conocimientos, o bien refleja ciertas leyes objetivas de la propia naturaleza? Dicho de otro modo, ¿pueden eliminarse las funciones de probabilidad de la esfera de la predicción y reducir todas las leyes estadísticas a las dinámicas? Esta pregunta hace ya tiempo que se ha planteado en la ciencia. En el marco de la física clásica se contestaba a ella de un modo positivo. Se suponía que el desarrollo de la materia era equivalente a un proceso determinado y que

en cada estado de un sistema dado se hallaban implícitos, en forma de posibilidad, todos sus estados posteriores. El desarrollo se concebía como un desenvolvimiento, en el mismo sentido, de posibilidades implícitas en la materia, en cuya acción no había nada esencialmente nuevo comparado con lo existente al principio. Por ello, si se consiguieran conocer las causas de todos los fenómenos en el presente, podrían predecirse todos los posibles efectos en un futuro todo lo remoto que se quisiera. Laplace, en su obra *Teoría analítica de las probabilidades*, dio una formulación física concreta de esas concepciones. Laplace escribía: "Una inteligencia que conociese en cualquier momento dado de tiempo todas las fuerzas que animan la naturaleza y la posición relativa de todas sus partes integrantes y que fuese, además, lo bastante amplia para someter esos datos al análisis, podría abarcar en una fórmula única el movimiento de los cuerpos más grandes del universo juntamente con el movimiento de los átomos más diminutos; nada quedaría desconocido para ella, y el futuro, lo mismo que el pasado, se ofrecería a su vista".[2]

En consonancia con ello, la probabilidad en la física clásica se consideraba como la medida de nuestro desconocimiento de todas las causas de los fenómenos, y de modo análogo la casualidad se estimaba como la necesidad no conocida. Se suponía que si lográsemos conocer todas las causas de los fenómenos, podría eliminarse plenamente la casualidad y, juntamente con ella, la probabilidad de la esfera de las predicciones. Toda ley estadística se definía como resultado de la acción de leyes dinámicas no conocidas que se referían a la microestructura de los fenómenos.

Hemos de señalar que la formulación inicial del principio determinista, dada por los materialistas franceses del siglo XVIII, era mucho más amplia que la enunciada por Laplace y de la que se adoptó más tarde por la mecánica

[2] Laplace, *Teoría analítica de las probabilidades*, Trad. rusa, Moscú, 1908, pág. 9.

clásica. Los materialistas franceses consideraban que para predecir el futuro era preciso conocer todas las causas que se refieren al presente, sobrentendiendo, al mismo tiempo, que las causas dadas podían ser todo lo complejas que se quisiera.

En cambio, Laplace y sus discípulos redujeron las condiciones necesarias para la previsión del futuro tan sólo al conocimiento previo de las coordenadas y los impulsos (cantidades de movimiento) que integran el cuerpo de las partículas. Esta limitación de las condiciones estaba íntimamente relacionada con las concepciones metafísicas sobre la estructura de la materia, imperantes en la física de los siglos XVIII y XIX. La materia se consideraba como un conjunto de átomos indivisibles idénticos a los puntes materiales. Y las características fundamentales de los puntos materiales no son más que las coordenadas y los impulsos. En consonancia con ello, se opinaba que si se lograsen conocer las coordenadas y los impulsos de todas las micropartículas que integran la materia, si se formulasen para ellas las ecuaciones correspondientes y luego se generalizasen las soluciones de esas ecuaciones, podría determinarse el estado del mundo en cualquier período del tiempo pasado y futuro.

La mecánica cuántica refutó esa formulación simplista del determinismo, pero no refutó el determinismo formulado antes por la filosofía materialista. En efecto, partiendo del principio de incertidumbre, del reconocimieno de la unidad de las propiedades corpusculares y ondulatorias de las micropartículas, así como del carácter cuántico de las leyes que rigen sus interacciones, no puede negarse que el conocimiento de todas las causas —no sólo el de las coordenadas y los impulsos, sino de todas las causas precisamente— del comportamiento de las partículas en toda clase de condiciones variables es imprescindible y suficiente para determinar todos los efectos que de él se desprenden. No es casual, por tanto, que durante los últimos años se haya intentado, en diversas ocasiones, formar una teoría determinista de la me-

cánica cuántica a base de supuestos "parámetros ocultos", desconocidos para el observador, pero que determinan con el mismo signo la conducta de las micropartículas.

Al parecer no puede impugnarse, a base tan sólo de la mecánica cuántica, la tesis determinista de que el desarrollo de la materia significa el desenvolvimiento equivalente de posibilidades existentes de antemano y de que todo estado anterior del mundo determina necesariamente todo su estado futuro.

De aquí, sin embargo, no puede sacarse la conclusión de que la teoría del determinismo mecanicista es, en general, irrebatible. En su desarrollo lógico desemboca en contradicciones insuperables, que demuestran la falsedad de las premisas iniciales. La necesidad de realización de cualquier acontecimiento, incluso del más insignificante, está implícita, según esa teoría, en un pasado todo lo remoto que se quiera. Todos los acontecimientos, por increíbles e insignificantes que sean, aparecen como algo irreversible. Como la materia que compone los cuerpos ha tenido una existencia anterior infinita, la necesidad de realización de los sucesos dados ha de estar implícita ya en el infinito pasado. Engels hacía notar que la necesidad así comprendida no se sale de los límites de la concepción religiosa sobre el mundo, aunque desde el punto de vista formal no se hable de ninguna fuerza sobrenatural.

Además, si nos atenemos consecuentemente a este punto de vista, tendremos que negar todo desarrollo en la naturaleza. Si están implícitas en el pasado, en forma de posibilidades, todos los estados posteriores, en la acción, no habrá nada nuevo por principio si se compara con lo comprendido en la causa. Por consiguiente, no puede hablarse de ningún desarrollo de la materia ni de la aparición de formas y estados nuevos de la misma. Todo lo posible ya existe en potencia en cada estado dado de la materia y todo el proceso de cambios no es más que el desenvolvimiento o crecimiento cuantitativo de cualidades que existen eternamente. El ca-

rácter metafísico y fatalista de dicha concepción demuestra que se han cometido errores en su argumentación lógica. Para poner de manifiesto estos errores y refutar así esta teoría hemos de examinar otro grupo de problemas.

3. Correlación entre las leyes dinámicas y estadísticas, de la posibilidad y la realidad.

El determinismo mecanicista se basa en leyes dinámicas que considera absolutas y a las cuales reduce todas las formas de vínculos causales. Ahora bien, ¿está justificada semejante reducción?

Las leyes dinámicas expresan una forma de nexos causales en la cual los estados anteriores de un sistema determinan de un modo equivalente todos sus estados futuros. Esta correlación entre el pasado y el futuro es posible únicamente en sistemas autónomos, cuyas propiedades se determinan, principalmente, por sus nexos internos. Pero la materia es inagotable en su estructura y cada sistema incluye en sí sistemas u objetos de orden menor, cuyo número puede ser todo lo grande que se quiera. Y donde hay numerosos objetos, entran en acción las leyes estadísticas. Por consiguiente, la ley dinámica de desarrollo de un sistema estará condicionada por los procesos estadísticos en la región de la microestructura del sistema dado. Por ejemplo, la ley de la gravitación o de la interacción de las cargas eléctricas podrá expresarse en forma de dependencias funcionales dinámicas. Pero estas leyes están condicionadas, en su base, por una multitud de microprocesos supeditados a leyes estadísticas. De aquí se deriva que una ley dinámica para el sistema M será estadística para el sistema $M\text{-}K$, que forma parte del primero como uno de sus numerosos elementos. Toda ley dinámica descansa en procesos probables que se refieren a la microestructura del fenómeno.

Lo dicho permite comprender la esencia de los errores

cometidos en la concepción del determinismo mecanicista. El carácter absoluto otorgado a las leyes dinámicas se debe a la concepción metafísica sobre la estructura de la materia. Como se admitía que todos los cuerpos estaban constituidos por átomos primarios y carentes de estructura, se establecía, naturalmente, la conclusión de que las leyes del movimiento de los átomos eran las últimas leyes dinámicas que constituían la base de todos los fenómenos de la naturaleza. Se consideraba, al mismo tiempo, que las leyes atómicas coincidían con los principios fundamentales de la mecánica clásica, dotados de valor universal.

Desde el punto de vista de las ideas actuales sobre la materia, semejantes concepciones no pueden ser admitidas como correctas en modo alguno. Primero, las leyes mecánicas actúan sólo en una esfera limitada de fenómenos macroscópicos y no se extienden a los microfenómenos, donde imperan leyes cualitativas distintas. Segundo, si se consiguiera descomponer, incluso, un objeto complejo en los átomos que lo componen, de ningún modo podrían deducirse todas sus propiedades y leyes de desarrollo de las propiedades de algunos átomos, ya que las micropartículas, al formar sistemas más complejos, originan nuevas formas cualitativas de la materia, dotadas de propiedades que no poseían anteriormente las diversas partículas. Y, por fin, tercero, las leyes del mundo atómico no son estrictamente dinámicas, ni mucho menos. Cada átomo viene a ser una asociación sumamente compleja, que contiene una inagotable multitud de elementos de la materia. En virtud del gran número de éstos, su interacción recíproca está supeditada a leyes estadísticas que son las que determinan las propiedades y las leyes de conducta del átomo. Lo mismo cabe decir con relación a las leyes y propiedades de las partículas elementales.

En general, a medida que vayamos ahondando en la estructura de la materia, iremos tropezando con una infinita multitud de procesos probables cada vez más indeterminados. Y en consonancia con ello aumentarán constantemente

las diversas posibilidades de conducta de los microobjetos, con la particularidad de que de toda esa multitud de posibilidades se convertirán en realidad, en cada acto de interacción, tan sólo unas pocas. Eliminar plenamente estas leyes estadísticas resulta imposible por principio, ya que la materia es inagotable e infinita en profundidad. Gracias a ello, el programa del determinismo mecanicista es irrealizable por principio. A medida que se profundiza en la estructura de la materia ha de producirse una constante ampliación de la esfera de los procesos probables. Y, por el contrario, a medida que los sistemas se vayan haciendo más complejos, la esfera de los procesos probables empezará a restringirse, a lo cual corresponderá un movimiento cada vez más regulado y homogéneo. Esta tesis concuerda plenamente con la ley que hemos examinado antes, según la cual todo cambio o proceso reversible en un sistema dado equivale a un momento de desarrollo o de cambio irreversible en un sistema de orden mayor. El desarrollo o el cambio irreversible presuponen un movimiento más homogéneo y regulado en el sistema en comparación con el movimiento relativamente desordenado de sus elementos componentes.

Vemos, pues, que las leyes dinámicas no pueden considerarse primarias, ya que están condicionadas por numerosos procesos probables en la esfera de la microestructura de los fenómenos. Pero las leyes estadísticas tampoco pueden considerarse como las únicas existentes, ya que todos los sistemas autónomos se desarrollan según leyes de tipo dinámico. Cada una de esas leyes tiene su esfera de acción en la región de los correspondientes sistemas materiales.

Otro error del determinismo mecanicista radica en la incorrecta solución del problema de la posibilidad y realidad en el desarrollo. Según el determinismo, todo cuanto existe en el mundo estaba comprendido en forma de posibilidad ya en estados anteriores, todo lo alejados que se quiera. A primera vista parece que así debe ser. Habitualmente, comprendemos todo lo existente como una posibilidad converti-

da en realidad. Y como nada se origina sin causa, es lógico suponer que cualquier fenómeno ha existido en forma de posibilidad anteriormente en los estados anteriores de la materia. Sin embargo, si desarrollamos consecuentemente este punto de vista, habremos de reconocer que la posibilidad de aparición de cualquier fenómeno existe en un pasado todo lo remoto que se quiera y que todo el proceso del desarrollo no es más que el desenvolvimiento de posibilidades existentes desde siempre. En el mundo no surge nada nuevo de principio. De este modo llegamos al fatalismo, a la teoría de la eterna premeditación de todo lo existente.

¿Cuál es la solución de dicha contradicción? Debe hallarse, probablemente, en una solución racional del problema de la posibilidad y la realidad. Precisamente, la cuestión radica en si la posibilidad de aparición de toda suerte de fenómenos existía en un pasado todo lo remoto que se quiera o si esas posibilidades pueden originarse durante el desarrollo, igual que se originan los fenómenos. Para tener una visión clara en este problema, debemos examinar con detalle la correlación entre posibilidad y realidad.

La *posibilidad* representa una tendencia real, oculta en los objetos y fenómenos, que caracteriza las diversas direcciones en el desarrollo del sistema. La *realidad* es todo cuanto existe objetivamente como posibilidad realizada. La realidad no puede definirse como todo aquello que existe, ya que la posibilidad también existe y con semejante definición pierde sentido la diferencia entre posibilidad y realidad. La realidad es todo cuanto se ha formado o se encuentra en proceso de formación, mientras que la posibilidad expresa sólo las tendencias que han de realizarse todavía en el caso de que surjan las condiciones indispensables para ello. Suele afirmarse que todo lo existente es la posibilidad convertida en realidad. Semejante afirmación es inexacta, porque existen *realmente* posibilidades aún no convertidas en realidad y su número en cada sistema material puede ser tan grande como se quiera.

El concepto de posibilidad guarda estrecha relación con el de probabilidad. La *probabilidad objetiva* viene a ser la medida cuantitativa de la posibilidad de realización de un acontecimiento cualquiera. Si la probabilidad se aproxima a 1, expresa la necesidad; si se aproxima a 0, la casualidad.

Es posible no todo aquello que pueda surgir en la mente humana a base de razonamientos lógicos o ilógicos, sino sólo aquello que corresponde a las leyes objetivas de la naturaleza o, mejor dicho, a las leyes internas del sistema material dado. En esa concordancia, precisamente, radica el criterio de diferencia entre lo posible y lo imposible.

Las posibilidades pueden ser reales y formales. Son reales las que corresponden a las leyes objetivas de la naturaleza y cuentan con condiciones para su realización. A diferencia de ello, las posibilidades formales son tquellas que, a pesar de no contradecir las leyes de la naturaleza, no pueden realizarse en el tiempo dado por falta de las condiciones necesarias. Las diferencias entre las posibilidades reales y formales son relativas. La posibilidad formal puede convertirse en real siempre que surjan las condiciones correspondientes, lo mismo que la real puede pasar a ser formal si desaparecen las condiciones necesarias.

Para que la posibilidad se transforme en realidad se precisan dos factores en la naturaleza: primero, la acción de las leyes objetivas, y segundo, la creación de condiciones propicias. La realización de las posibilidades suele depender casi exclusivamente de la presencia de condiciones favorables, ya que la ley correspondiente ha existido en forma de *tendencia* mucho antes de ello. Por ejemplo, las partículas elementales y los átomos se distinguen por su tendencia a asociarse en sistemas más complejos y a constituir formas de materia altamente organizada. Esta tendencia deriva necesariamente de la ley de las interacciones electromagnéticas, gravitacionales y nucleares de las micropartículas. Su realización, empero, depende exclusivamente de la existencia de las condiciones correspondientes. En las nebulosas di-

fusas puede realizarse en un grado muy insignificante; en las estrellas, sus condiciones de realización se hacen más propicias y se originan en ellas diversos elementos químicos, y en algunos planetas puede transformarse plenamente en realidad, dando origen, por consiguiente, a formas de vida altamente organizadas.

En la sociedad, el tránsito de la posibilidad a realidad se distingue esencialmente de ese mismo tránsito en la naturaleza. A los dos factores ya mencionados —las leyes y la variabilidad de las condiciones— se debe añadir otro más: el subjetivo. El factor subjetivo representa el conjunto de ideas, sentimientos y estados de ánimo que existen en la conciencia humana y le incita a obrar de un modo determinado. El factor subjetivo tiene suma importancia. Frecuentemente se dan condiciones favorables del todo para la realización de cierto fin, y el mismo fin no contradice las tendencias objetivas del desarrollo social, pero la falta de decisión, voluntad, organización y seguridad en la victoria impide que los hombres lleven dicho fin a la práctica.

El concepto de posibilidad en el desarrollo de los diversos sistemas expresa la tendencia que podría haberse realizado siempre que se diesen todas las condiciones propicias y *no hubiese oposición*. Sin embargo, en el mundo real siempre hay factores opuestos, ya que la lucha de los contrarios constituye el contenido interno y la fuente de todo desarrollo. Por ello, de las posibilidades que existen en cada estado del sistema se convierten en realidad *sólo unas cuantas*, al tiempo que las demás desaparecen o se transforman de posibilidades reales en posibilidades formales. Tiene lugar una peculiar selección de posibilidades y se realizan sólo aquellas que corresponden mejor a las condiciones exteriores existentes. Así, por ejemplo, cada organismo vivo está en condiciones de reproducir una descendencia muy numerosa; sin embargo, de toda la multitud de células sexuales sólo muy pocas forman organismos independientes, mientras que las demás perecen. Las algas diatomáceas que constituyen

el plancton podrían llenar en breve espacio de tiempo todos los mares y océanos, siempre que existiesen condiciones que no impidiesen su multiplicación. Una sola diatomácea, dividiéndose en partes, podría proporcionar al cabo de ocho días una masa de sustancia igual al volumen de la Tierra y en el transcurso de la hora siguiente duplicar esa masa.[3] Una sola bacteria en un medio propicio a su desarrollo puede producir en un día 10^{25} individuos, y en cuatro días y medio, 10^{36} individuos, que por su masa serían miles de veces mayores que la masa de todos los organismos de la biosfera. Sin embargo, de toda esa inmensa multitud de posibilidades se convierte en realidad una multitud de orden incomparablemente menor, al tiempo que las demás no se realizan y desaparecen del todo.

La selección de las posibilidades existe en todo proceso de desarrollo. Siempre que se forma un sistema de cualquier complejidad hay un número inmenso de posibles combinaciones de sus elementos componentes; sin embargo, de toda esa multitud se transforman en realidad unas pocas únicamente. Por ejemplo, en el núcleo del uranio hay 238 (238 factoriales $= 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \ldots 237 \cdot 238$) posibles combinaciones diversas de protones y neutrones, pero en realidad pueden existir varias combinaciones semejantes, en consonancia con el número de isótopos de uranio. Lo mismo cabe decir con relación a cualquier otro alimento. Del colosal número de posibles combinaciones químicas, en la corteza terrestre no encontramos más que dos mil. Para la molécula de la albúmina con un peso molecular de cien mil son posibles 10^{1270} isómeras, es decir, diversas distribuciones de los átomos en la molécula; no obstante, de toda esa inmensa cantidad de posibilidades son estables unas cuantas isómeras, relativamente muy reducidas numéricamente.

Hemos de señalar que hasta la propia existencia de cualquier cuerpo complejo viene a ser el resultado de la selección o limitación de las posibilidades. Cada micropar-

[3] V. I. Vernadski, *Lecciones de geoquímica*, M.-L., 1934, pág. 177.

tícula que constituye un cuerpo podría poseer en estado libre múltiples grados de libertad, que tendrían, correspondientemente, los más diversos movimientos. Pero el número de grados de libertad de la partícula en el cuerpo está estrictamente delimitado, pues puede moverse de un modo rigurosamente determinado, en consonancia con la ley interna de organización del sistema dado.

Las posibilidades no realizadas desaparecen sin dejar huella cuando desaparece el sistema al que eran inherentes. Pero al aparecer sistemas nuevos, se originarán posibilidades que antes no existían. Por ejemplo, cualquier animal puede dejar en el transcurso de su vida una numerosa descendencia, pero esas posibilidades desaparecen con su muerte y jamás vuelven a producirse. En cambio, la aparición de animales nuevos está relacionada con la aparición de posibilidades nuevas por principio que no existían anteriormente.

Más aún, la limitación y selección de unas posibilidades en todos los sistemas materiales se compensa por la aparición de posibilidades nuevas por principio, propias de los nuevos estados cualitativos de la materia. Un sistema complejo posee siempre propiedades y leyes de desarrollo desconocidas para sus componentes integrantes o de las formas de materia que le han dado origen históricamente.

Llegamos ya a conclusiones directamente opuestas a las concepciones del determinismo mecanicista y que permiten impugnarlo. Si el desarrollo de la naturaleza no fuese más que un proceso determinado y equivalente, donde se produjese *tan sólo* la realización de posibilidades implícitas antes en el sistema sin que pudiesen originarse nuevas posibilidades, con el transcurso del tiempo muchas de ellas tendrían que reducirse constantemente debido a la selección hasta el momento en que, por fin, hubiesen desaparecido todas y habría cesado todo desarrollo.

Supongamos, efectivamente, que en un momento determinado de tiempo existían en el mundo M posibilidades,

con la particularidad de que esa multitud era infinita. Como durante el desarrollo tiene lugar la selección de las posibilidades, de la multitud dada, M, se transformaría en realidad, con el paso del tiempo, una multitud de orden menor que designaremos como multitud $M^{\frac{1}{n}}$ (donde n es una cifra entera arbitraria, superior en muchas veces a la unidad). El estado de nueva formación se caracterizaría por $M^{\frac{1}{n}}$ posibilidades, de las cuales se convertirían en realidad, con el paso del tiempo, tan sólo $\left(M^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}}$ posibilidades, mientras que las demás desaparecerían. En ese tercer estado habría aún menos posibilidades y de ellas pasarían a realidad una multitud $\left\{\left(M^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}}\right\}^{\frac{1}{n}}$, etc.

Con esa vertiginosa reducción de la multitud de posibilidades durante un tiempo infinito tendría que haberse producido la degradación de todas esas posibilidades, incluso si la primaria multitud inicial infinita tuviese la potencia de lo continuo.

La infinita multitud inicial se reduciría durante el tiempo infinito a una multitud dotada de un solo elemento:

$$\left\{\left(\left(M^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}}\right\}^{\frac{1}{n}} \cdots \xrightarrow[\text{con } t \to \infty]{} 1$$

Pero una sola posibilidad puede caracterizar un fenómeno de todo punto insignificante; por ejemplo, un grado de libertad en el movimiento del electrón, y tan pronto como el electrón avance en esa dirección, esa posibilidad ya habrá sido realizada. En este caso no quedaría ninguna posibilidad y toda la multitud se reduciría a cero, cosa que equivale al cese de todo cambio y desarrollo de la materia.

Sin embargo, el mundo real no demuestra ninguna tendencia hacia semejante estado. Por el contrario, se observan por doquier ilimitadas posibilidades para el desarrollo. En este caso, a fin de salvar la concepción determinista en el desarrollo no queda más remedio que admitir que el tiempo de existencia del mundo es finito. Igualmente, incluso

con la selección de las posibilidades en el desarrollo, su cantidad general hoy día puede ser todo lo grande que se quiera. Mas esta admisión conduce a conclusiones francamente religiosas. Tendremos que reconocer la creación del mundo en el pasado y su fin inevitable en el futuro, una vez que se hayan agotado todas las posibilidades.

Si nos atenemos a una concepción consecuentemente materialista sobre el mundo y partimos del principio de su existencia infinita en el tiempo, habremos de reconocer por fuerza la falsedad de la concepción determinista. Nos veremos obligados a admitir que durante el desarrollo, no sólo se realizan las posibilidades existentes en el pasado, sino que se crean posibilidades nuevas por principio, no implícitas en los estados anteriores de la materia. Esta creación no infringe el principio de la causalidad o de las leyes de conservación de la materia y sus propiedades. Las nuevas posibilidades no se originan sin causa, sino como una tendencia de los nuevos estados de la materia, antes inexistentes. Esta ley se debe a que en los vínculos causales de los fenómenos en desarrollo rige el principio de la *acción próxima* y no lejana. Eso significa que cada conjunto dado de causas determina sólo los efectos que derivan directamente de ese conjunto, pero no aquellos que puedan originarse en un futuro lejano. Estos últimos estarán directamente determinados por las causas que les han antecedido y que tendrán que surgir todavía durante el desarrollo de la materia.

Así, por ejemplo, la nube de gas y polvo que sirvió de base material para la formación del Sol y de los planetas no llevaba implícita todavía la posibilidad de especies vegetales y animales en las formas que conocemos, y mucho menos las posibilidades de aquellos acontecimientos que tuvieron lugar en el desarrollo de la sociedad humana. Por mucho tiempo que hubiera podido existir dicha nube en su *aspecto anterior,* dichos fenómenos no se habrían podido producir en modo alguno. La posibilidad implícita en esa nube era la de la formación del Sol y de los planetas. Cuando

se originaron el Sol y los planetas, en la Tierra y en algunos otros planetas se hizo posible la existencia de los seres vivos como resultado del desarrollo de la materia inorgánica. En el Sol no pudo haberse producido esa posibilidad. Con la aparición de la sustancia viva aparecieron numerosas y diversas posibilidades en el desarrollo de la materia, hasta que, por fin, debido a la realización sucesiva de esas posibilidades y a la creación de posibilidades nuevas de principio, aparecieron los animales superiores y, seguidamente, la sociedad humana. Por ello, si la "inteligencia" de que habló Laplace pudiera conocer la recíproca posición de todas las partículas de la nebulosa indicada, así como las fuerzas que en ella interactuaban, y lograse después representar ese vínculo causal en forma de una dependencia funcional única, podría determinar tan sólo los estados inmediatos sucesivos del sistema, deducidos directamente del estado en cuestión, pero no habría podido predecir ni el carácter específico de las diversas clases de plantas y animales en la Tierra, ni, tanto menos, los acontecimientos históricos en la vida de la sociedad, ya que las posibilidades de realización de esos fenómenos no estaban implícitas en aquel estado de la materia, sino que se originaron mucho más tarde, cuando se crearon condiciones favorables para ello y gracias a la interacción de causas que les antecedieron directamente. La tesis inicial del determinismo mecanicista, según la cual en el efecto no hay nada esencialmente nuevo en comparación con lo contenido en la causa, es errónea por principio, ya que *el efecto siempre contiene algo nuevo en comparación con la causa*. Esto significa que en el curso del desarrollo siempre aparecen nuevos vínculos causales y posibilidades antes no existentes.

En la naturaleza inorgánica no existen más que vínculos físicos que presuponen una interacción de fuerza o de contacto; en la sociedad y en la naturaleza viva, por el contrario, se originan tipos de conexiones totalmente nuevos, con una diversidad cualitativa incomparablemente superior

a la que existe en la naturaleza física y un número mucho mayor de posibilidades. En un sistema físico cerrado, la multitud de posibilidades se degrada con el curso del tiempo según la fórmula: $M \rightarrow M^{\frac{1}{n}} \rightarrow \left(M^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}} \ldots$, debido a lo cual el sistema pasa a un estado de equilibrio estadístico con un valor máximo de entropía. En sistemas abiertos o no cerrados, junto con la degradación de las viejas posibilidades se originan, en compensación, otras nuevas. Si en el sistema no aparecen formas de movimiento cualitativamente nuevas, superiores, la multitud de sus posibilidades seguirá siendo más o menos igual con el transcurso del tiempo. Pero si en el sistema se originan formas de movimiento superior, incluidos los biológicos y sociales, la multitud de sus posibilidades, con el paso del tiempo, se irá ampliando $M \rightarrow M^n \rightarrow M^{n^n}$, etc.

Con la particularidad de que esa ampliación se efectuará no sólo en el sentido cuantitativo, sino también cualitativo, gracias a la aparición de *nuevas leyes del desarrollo antes inexistentes. En la ampliación de la esfera de las posibilidades radica, precisamente, la esencia de todo desarrollo en línea ascendente.* Esta ley puede ilustrarse concretamente con numerosos ejemplos. Si observamos, por ejemplo, el desarrollo de la materia viva, veremos cómo aumentan constantemente las posibilidades en diversas direcciones del desarrollo de los organismos, de sus funciones, carácter de interacción con el medio, etc., a medida que se pasa de las especies más simples a las especies cada vez mejor organizadas. Los organismos simplicísimos, tales como amebas, infusorios, etc., poseen un número limitado de posibilidades en su desarrollo. Todo el ciclo biológico de existencia de cada uno de esos individuos está limitado por formas de conexiones con el medio circundante relativamente simples. A diferencia de ello, los animales superiores y, ante todo, los mamíferos, poseen vínculos de extraordinaria diversidad y diferenciación con el medio circundante. Les correspon-

den inmensas posibilidades orientadas al desarrollo progresivo. Lo mismo ocurre en la sociedad humana, donde a medida que progresan las ciencias y las fuerzas productivas aumentan extraordinariamente las posibilidades de someter la naturaleza al servicio del hombre, de satisfacer las necesidades materiales y espirituales, en constante crecimiento, de los hombres, de regular conscientemente los diversos aspectos de las relaciones sociales.

Simultáneamente con la aparición de nuevas posibilidades, se van extinguiendo las viejas, las que han existido antes. Como decía F. Engels, "todo progreso en la evolución orgánica constituye al mismo tiempo una regresión desde el momento en que, al fijar una evolución *unilateral*, excluye la posibilidad del desarrollo en muchas otras direcciones."[4]

En ciertos casos, el proceso de degradación de las posibilidades puede transcurrir con tanta intensidad, que se produce la extinción de la especie. También entre los animales superiores, en los cruces dentro de una misma especie, se restringen las posibilidades del desarrollo. Si esos cruces se producen durante un largo período de tiempo, acaba por degradarse biológicamente el individuo de esa especie. De un modo análogo los vínculos consanguíneos entre los hombres en los límites de una familia conducen a una gradual degeneración psíquica y biológica de los individuos. A la luz de la ley arriba estudiada, estos fenómenos encuentran su explicación lógica. Desde el punto de vista *genético*, una familia semejante constituye un sistema cerrado, y por ello debe producirse en él, con el paso del tiempo, una restricción de la esfera de las posibilidades. Si en las células sexuales de los individuos de la primera generación radicaban M posibilidades, en la segunda su número será, aproximadamente, de $M^{\frac{1}{n}}$, en la tercera $-\left(M^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{n}}$, etc. Esta reducción de la esfera de las posibilidades avanzará a un ritmo mu-

[4] F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, ed. esp. cit., pág. 264.

cho más rápido que la adquisición por el organismo de nuevas posibilidades debido a la interacción con las nuevas condiciones de existencia. Gracias a ello tendrá lugar la degeneración biológica, y en la sociedad humana también la psíquica de los individuos.[8]

Para evitar semejante degeneración, la familia ha de ser genéticamente abierta, es decir, no constituir un sistema cerrado y evitar los matrimonios consanguíneos. En la ganadería suelen obtenerse buenos resultados cruzando representantes de diversas razas. En estos casos la reducción de las viejas posibilidades está compensada por la aparición de otras nuevas, y si este proceso va acompañado por la selección natural, el desarrollo biológico tiene, en conjunto, carácter progresivo. El hombre crea las cualidades que precisa en los animales domésticos por medio de la selección artificial. Por lo que se refiere a la sociedad humana, la ley de la selección natural no es válida para ella, ya que todos los individuos se desarrollan y casi todos ellos tienen derechos jurídicos a la descendencia. La sociedad está supeditada a otras leyes cualitativas de desarrollo. Por eso, en los últimos siglos, el progreso biológico en la sociedad no se manifiesta en forma tan visible. En cambio se consigue un progreso inmenso en la cultura y la producción, en el conocimiento y la sumisión de la naturaleza. A medida que se pasa de una formación económica a otra, aumenta incesantemente el volumen de las realizaciones materiales y culturales y se acelera el ritmo de las transformaciones progresivas.

4. El problema de la probabilidad en el desarrollo

Todo desarrollo en línea ascendente representa un proceso de ampliación cuantitativa y cualitativa de la esfera de las posibilidades. Al mismo tiempo, aumenta la multi-

[8] Véanse en el libro de M. S. Bartlett *Introducción a la teoría de los procesos casuales*, traducción rusa, Ed. de Literatura Extranjera, Moscú, 1958, págs. 58-64, algunos aspectos matemáticos de estos procesos de degeneración.

tud de posibilidades que no tienen tiempo de realizarse. Las interrelaciones entre esas dos clases de posibilidades se reflejan en el concepto de la probabilidad. La *probabilidad objetiva* constituye la medida cuantitativa de la capacidad de realización de acontecimientos posibles, que expresa la relación entre el número de posibilidades realizadas y la cantidad general de las mismas existente en los estados anteriores. Esta probabilidad objetiva no debe identificarse con el valor numérico de la probabilidad que se obtiene en la teoría al hacer el pronóstico de algunos fenómenos. En este último caso la incertidumbre de la predicción obedece frecuentemente al desconocimiento de todas las causas que determinan el fenómeno. El máximo conocimiento de todas estas causas ayuda a descubrir el valor objetivo de la probabilidad, y en este caso la magnitud teórica calculada puede coincidir con la probabilidad que existe realmente. Mas esto, como regla, no se consigue plenamente, porque todo fenómeno está determinado por una multitud infinita de causas, que, prácticamente, es imposible tener en cuenta. Por ello la probabilidad teórica se diferencia siempre, en mayor o menor grado, de la probabilidad objetiva.

En algunos trabajos la probabilidad se determina como una categoría puramente subjetiva, que expresa el grado de nuestro desconocimiento de todas las causas del fenómeno que se predice. Se considera que si se lograse conocer todas las causas, podrían excluirse del todo las funciones de probabilidad, haciendo predicciones completamente fidedignas. Semejante suposición es cierta, pero *sólo en parte*, con relación a la probabilidad teórica, pues la imposibilidad de determinar su valor puede, en efecto, estar condicionada por el desconocimiento de las causas fundamentales del fenómeno. Pero es totalmente falso con relación a la probabilidad objetiva, que existe al margen de nuestra conciencia y expresa las relaciones recíprocas entre la posibilidad y la realidad en el desarrollo. Si conocemos todas las causas de un fenómeno, podemos elevar el valor teórico de la proba-

bilidad hasta lo objetivo, pero esto último no puede eliminarse por principio, ya que está condicionado por las propias leyes de la naturaleza y la sociedad. De este modo, la probabilidad calculada teóricamente representa la medida cuantitativa de realización de acontecimientos posibles y, simultáneamente, la medida de nuestro desconocimiento de todas sus causas. La probabilidad objetiva no es más que la medida de realización de las posibilidades, independiente de nuestra conciencia.

En virtud del carácter objetivo de la probabilidad, la predicción de un futuro lejano resulta posible para sistemas autónomos relativamente simples, que se supeditan en su desarrollo a leyes dinámicas. Pero es imposible para sistemas complejos que dependen de condiciones exteriores en constante cambio y se subordinan en su desarrollo a leyes estadísticas.

Para ilustrar lo dicho supongamos que se ha planteado la tarea de precisar con exactitud la duración de la vida de un hombre de edad madura. Conociendo de un modo exhaustivo el estado de su salud, la influencia que sobre él ejerce el medio ambiente, etc., podría obtenerse después de largos cálculos, con el empleo de la técnica más completa, una cifra de la duración de su vida. Mas esa cifra no podría ser absolutamente fidedigna en ningún caso. No sería más que cierta probabilidad, obtenida a base de datos estadísticos medios, pues la vida real del hombre dado puede seguir un curso completamente distinto, ya que con el tiempo pueden surgir factores determinantes, nuevos por principio, no implícitos, ni siquiera en forma de posibilidad, en su estado presente y que por eso jamás podían haber sido previstos. Dicho ejemplo se refiere a una cadena sumamente compleja de vínculos causales, mas una situación análoga tiene lugar en cualquier otro fenómeno que depende en su desarrollo de las cambiantes condiciones exteriores. Toda previsión puede ser certera con relación únicamente a los fenómenos que se *deducen directamente* de los ya existentes,

con la condición, claro está, de que esos fenómenos existentes se conozcan bastante bien. Pero no puede ser suficientemente certera con relación a sucesos concretos de un futuro lejano, cuya aparición depende en grado considerable de vínculos causales nuevos por principio, no implícitos en el presente. La previsión para un futuro lejano es posible únicamente con relación a los aspectos y las tendencias más generales del desarrollo, que son una consecuencia de leyes de larga duración.

La existencia de funciones probables en la teoría no significa un defecto que demuestra la limitación de nuestros conocimientos. No es más que la consecuencia natural de las leyes objetivas que caracterizan las recíprocas relaciones entre la posibilidad y la realidad en el desarrollo. En algunos casos no puede haber, por principio, ninguna otra previsión que las probables.

En relación con lo dicho, ofrece un cierto interés el análisis de la situación creada en la mecánica cuántica. En dicha teoría, la descripción probable del comportamiento de las micropartículas se deduce de su propio aparato matemático. La solución de la ecuación fundamental de la mecánica cuántica —la ecuación de Schroedinger— no proporciona los valores exactos de los parámetros de las partículas, sino tan sólo determinadas probabilidades de los mismos. Estos resultados se deben a que en el aparato matemático de la teoría no sólo se reflejan las propiedades corpusculares de las partículas, sino también las ondulatorias, su vinculación indisoluble con los diversos campos, etc. Una de las tesis fundamentales de la mecánica cuántica —el principio de incertidumbre— afirma que las partículas no pueden poseer al mismo tiempo valores exactamente iguales de coordenadas e impulso (cantidad de movimiento), por cuanto poseen propiedades ondulatorias. El producto de los errores en el valor de las coordenadas multiplicado por el error en el valor del impulso equivale, aproximadamente, a la constante de Planck: $\Delta x \cdot \Delta p \sim h$. Por ello, el programa del

determinismo mecanicista, que proclamaba la posibilidad de predecir con certeza el comportamiento de las microparticulas en un futuro lejano a base de un conocimiento exacto de sus coordenadas e impulsos, es irrealizable por principio hoy día.

El cambio determinado de un sistema no representa más que una forma simplicisima de vínculo causal que existe en sistemas autónomos poco complejos y se expresa en leyes dinámicas. Pero hay también una forma de causalidad mucho más compleja que se expresa en leyes estadisticas y funciones probables. Tiene lugar en todos los sistemas que están constituidos por una gran cantidad de elementos y dependen en su conducta de las condiciones exteriores en constante cambio. Ambas formas de causalidad no se anteponen mutuamente, sino que guardan una indisoluble unión. Estrictamente hablando, actúan en cada sistema material, pero en unos se manifiesta en mayor grado el vínculo dinámico o determinado por un mismo signo, y en otros, el probable. En los microfenómenos ambas formas se manifiestan conjuntamente. Las moléculas, los átomos y los núcleos atómicos representan sistemas relativamente autónomos, cuyas propiedades están condicionadas, sobre todo, por vínculos internos. Por ello se supeditan a leyes dinámicas que en algunas ocasiones actúan como determinantes. Concretamente, esto se expresa en que las propiedades físicas principales de las microparticulas, pese a sus posibles interacciones en las más diversas condiciones de su existencia, siguen siendo estables siempre que la energía de los estímulos exteriores no supere cierta magnitud crítica. Dichas propiedades se determinan, principalmente, por los vínculos internos de las partículas, por su estructura, y por eso el cálculo de los fundamentales vínculos internos permite dar, en general, una descripción relativamente exacta y determinada del estado de los microobjetos.

Sin embargo, las leyes dinámicas que rigen en este caso no son primarias. Vienen a ser la expresión exterior de otros

procesos más profundos. Como la materia es inagotable, cada microobjeto está constituido por una infinita multitud de elementos materiales, y allí donde hay multitudes con un número elevado de elementos entran en vigor las leyes estadísticas. En estas últimas se basan las leyes dinámicas, que determinan la estabilidad de las propiedades de las micropartículas. Estas leyes estadísticas internas se manifiestan constantemente en el exterior, condicionando el comportamiento probable de los microobjetos en su interacción con otras partículas. Debido a ello la mecánica cuántica, incluso si toma en cuenta las características fundamentales de las micropartículas, no puede describir en el mismo sentido su comportamiento futuro y se limita siempre a previsiones probables. La función ondulatoria, que se desprende de la ecuación de Schroedinger, caracteriza, precisamente, la medida del descubrimiento probable de micropartículas en un determinado volumen de espacio.

Un ejemplo típico de procesos probables lo tenemos en el fenómeno de la difracción. Incluso si conociéramos los parámetros iniciales fundamentales del electrón sería imposible predecir con absoluta autenticidad el lugar de su incidencia en la pantalla de difracción. En cualquier caso, la solución de las ecuaciones proporcionaría funciones probables para el movimiento del electrón. La causa de ello radica en que la conducta real del electrón al moverse a través del cristal está determinada por la infinita multitud de sus nexos internos y externos y, además, en el proceso del movimiento se crean posibilidades nuevas de principio en sus interacciones con el medio circundante no existentes anteriormente, por lo cual era imposible preverlas. De este modo, la inagotabilidad de la materia en profundidad y la aparición durante el desarrollo de posibilidades nuevas de principio condicionan necesariamente la existencia de apreciaciones probables en cualquier teoría de previsión, por muy exactamente que la teoría dada tome en cuenta las condiciones iniciales.

Hemos de señalar que la situación dada, no siempre, ni mucho menos, se comprende con claridad. Algunos autores consideran[6] que las funciones probables en la mecánica se deben a la imperfección de la teoría dada, así como a nuestro desconocimiento de todas las causas del comportamiento de las micropartículas. En realidad, según ellos, el movimiento de las partículas está estrictamente determinado, todas sus propiedades tienen un valor preciso, pero se manifiestan como parámetros ocultos. El conocimiento de esos parámetros permitiría prever con el mismo signo el comportamiento de las partículas, excluyéndose así las funciones probables. En consonancia con ello, la correlación de la incertidumbre es comprendida por ellos no como una ley objetiva de la naturaleza, sino como una cierta limitación temporal en el camino del conocimiento científico. Para esos autores, el ideal del desarrollo de la teoría cuántica radica en la descripción, en el mismo sentido de posibles acontecimientos futuros, que se enunciaba como programa por la mecánica clásica.

Es indudable que el cuadro de los microfenómenos que nos presenta la teoría cuántica actual es incompleto, y considerarlo absoluto sería dogmatizarlo. En el comportamiento de las micropartículas hay muchos parámetros ocultos, desconocidos aún para la teoría actual; su conocimiento haría más comprensibles los microprocesos.

Las funciones probables que se calculan en la teoría se diferencian esencialmente, según parece, de las leyes probables objetivas que dirigen el comportamiento de los microobjetos. Sería erróneo considerar, sin embargo, que la teoría cuántica puede retornar alguna vez al determinismo mecanicista, ya que su principio inicial respecto a la primacía de las leyes dinámicas y al hecho de que en el desarrollo no se produce más que la realización de posibilidades implícitas en el pasado es totalmente falso. Toda ley dinámica se basa

[6] Véase para mayor detalle *Problemas de la causalidad en la mecánica cuántica*, Ed. de Literatura Extranjera, M., 1955, artículos de J. Vigier y David Bohm.

en procesos estadísticos, y durante el desarrollo se crean siempre nuevas posibilidades, de las cuales se transforma en realidad una multitud de orden menor tan sólo. Por eso, toda teoría científica consecuente ha de incluir inevitablemente en sí las leyes probabilísticas, en las cuales se revelará el principio de la causalidad.

En relación con lo dicho, importa señalar que el propio principio de la causalidad es mucho más amplio que el principio del determinismo en su acepción estricta y no debe identificarse con él, como suele hacerse. Si volvemos a la definición dada del principio de la causalidad, veremos que el determinismo mecánico concuerda con los tres primeros puntos. Pero el punto cuarto, según el cual se producen durante el desarrollo nuevos vínculos y posibilidades causales, no deriva del determinismo. Lo mismo que la causalidad —según palabras de Lenin— no representa más que una pequeña fracción de las conexiones universales de los fenómenos, así el determinismo de un solo signo no es más que una manifestación parcial del principio universal de la causalidad. La diferencia de los conceptos dados permite comprender de un modo más correcto la multiplicidad de formas de los vínculos causales, así como el carácter específico de los procesos descubiertos por la mecánica cuántica. La mecánica cuántica ha mostrado la limitación del determinismo mecanicista, pero concuerda plenamente con el principio de la causalidad, dándole un nuevo contenido concreto.

En relación con esto, conviene que hablemos de procesos determinados en el mismo sentido y procesos probables. En los primeros, el estado inicial del sistema determina plenamente todos sus estados sucesivos para un período de tiempo bastante largo. Por ejemplo, el movimiento de los planetas en el sistema solar es un proceso determinado. En los procesos probables, el estado inicial determina los sucesivos sólo en parte, ya que en el desarrollo surgen conexiones y posibilidades nuevas de principio, no implícitas en los

estados anteriores del sistema. Los procesos probables están ampliamente difundidos no sólo en el microcosmos, sino también en escala macroscópica, en fenómenos biológicos y sociales. Propiamente hablando, todo cambio contiene en sí, en una u otra medida, procesos probables, ya que se basa en diversas leyes estáticas. Algunos de esos procesos fueron estudiados por el conocido matemático ruso A. A. Markov (1856-1922), recibiendo por ello el nombre de *markovianos*.

Se consideran como markovianos todos los procesos donde cada estado inicial del sistema determina los procesos que se deducen directamente de él y no todos los sucesivos. Diríase que los procesos dados se "acuerdan" tan sólo de los momentos de tiempo directamente anteriores. En este caso el conocimiento de la historia pasada del sistema no tiene importancia de principio para determinar su futuro, sobre todo el lejano. Esto se debe al principio de la acción próxima en las conexiones causales. Como en el desarrollo se originan nuevas posibilidades, los efectos lejanos pueden distinguirse de raíz de los inmediatos y con lo mismo de las causas iniciales. Dicha ley no rige únicamente con relación a los estados concretos de los diversos sistemas, sino con relación a las propias leyes de su desarrollo. En cualquier sistema que se desarrolla, cada ley vigente determina sólo aquellas leyes que se deducen de ella durante el desarrollo y se diferencian poco de ella por el grado de su complejidad. En cambio, las leyes que se diferencian radicalmente entre sí por el grado de su complejidad no se encuentran en directa dependencia causal entre sí, sino que poseen relativa independencia. En relación con esto, podemos decir que las leyes del desarrollo social, así como las leyes de las relaciones entre y dentro de las especies, no están implícitas en las leyes de interacción de las partículas elementales. En estas últimas radicaba tan sólo la posibilidad de aparición de las leyes atómicas. Con la aparición de los átomos de diversos elementos surgió la posibilidad de las leyes moleculares y químicas, y sobre su base, la posibilidad de que apa-

reciesen las leyes de la vida, etc. De este modo el principio de la acción próxima se manifiesta también en los nexos causales de las leyes.

Este carácter del desarrollo de los sistemas y las leyes está determinado por las interrelaciones objetivas entre la posibilidad y la realidad, que dependen, a su vez, de la acción de otras leyes dialécticas y, ante todo, de la ley de la unión y la lucha de los contrarios. Como en todo sistema material existen fuerzas y tendencias contrarias y toda acción provoca su reacción correspondiente, de la multitud de posibilidades implícitas en un sistema podrán realizarse tan sólo unas pocas, relativamente. Importa tener en cuenta, al mismo tiempo, la aparición durante el desarrollo de estados *cualitativos* nuevos de principio, radicalmente distintos de los estados anteriores. Todos estos problemas, completamente nuevos, empiezan a elaborarse hoy día con gran intensidad en las matemáticas, en la teoría de los procesos markovianos, en la teoría de los juegos, de la previsión científica y en la planificación dinámica de la economía.

Para terminar, queremos detenernos en otro problema importante, estrechamente relacionado con el problema de la probabilidad. En todo sistema material el cambio se orienta siempre hacia el tránsito de estados menos probables a los de mayor probabilidad. ¿Qué estado de la materia es el más probable y, en general, existen estados de ese género? En la física clásica la respuesta a esta pregunta era positiva. Se consideraba que el estado más probable era el del equilibrio estable, hacia el cual tienden, al fin y al cabo, todas las modificaciones del mundo, en consonancia con la segunda ley de la termodinámica. Algunos científicos siguen desarrollando, incluso ahora, semejantes concepciones. Así, por ejemplo, N. Wiener escribía: "A medida que crece la entropía, el universo y todos los sistemas cerrados del universo tienden, naturalmente, al desgaste y a la pérdida de su determinación y al paso de un estado de menor probabilidad al de mayor probabilidad, de un estado de organización y

diferenciación, en el que existen diferencias y formas, a un estado de caos y uniformidad."[7] La tendencia general del mundo es la destrucción y la muerte, "aumenta el desorden y disminuye el orden".[8]

Estas deducciones se basan en la segunda ley de la termodinámica, considerada como algo absoluto, y carecen de todo fundamento. El concepto de estado más o menos probable no tiene un valor absoluto, ya que posee distinto sentido con relación a los diversos sistemas. Para un sistema cerrado el estado de mayor probabilidad será, en efecto, el estado de equilibrio estadístico. Pero para sistemas no cerrados no existe un solo estado de máxima probabilidad. Puede haber multitud de ellos en las diversas condiciones de existencia del sistema. De la multitud de posibilidades existentes en el sistema se convertirán en realidad, como probables, sólo aquellos que estén más en consonancia con las condiciones exteriores que se tienen y con las leyes vigentes en el sistema. Esto se refiere, en primer lugar, a todo el mundo infinito en su conjunto. Como la materia es inagotable en su estructura, la multitud de sus estados posibles es infinita. Y, por tanto, para la materia en su conjunto no existen estados de mayor probabilidad. Todos sus estados son probables por igual. La realización de algunos de ellos en cada caso concreto estará determinada tan sólo por las condiciones del desarrollo de los sistemas y las leyes internas que en ellos actúan.

•

Así, pues, generalizando lo dicho, cabe sacar las siguientes conclusiones. El desarrollo de la materia es tan inagotable como su movimiento. No precisa de ningún estímulo o fuente exterior, sino que se deduce de un modo natural de la propia esencia de las interacciones de los diversos

[7] N. Wiener, *La cibernética y la sociedad*, págs. 27-28.
[8] Ibidem, pág. 49.

objetos materiales. La materia no puede existir al margen del movimiento y la interacción. Toda interacción tiende a unir los diversos elementos materiales en sistemas más complejos, debido a lo cual se hace posible —y en algunos casos particularmente favorables hasta necesario— la aparición de estructuras mejor organizadas. Esta tendencia a la complicación de los vínculos y las formas de movimiento es indestructible, por lo cual el desarrollo constituye un proceso infinito en el marco de toda la naturaleza.

A lo largo de períodos de tiempo considerables, el desarrollo se manifiesta siempre como un proceso *no lineal*. Su no linealidad se manifiesta en que, primero, los cambios cuantitativos conducen durante el desarrollo a cambios cualitativos radicales y a la aparición de estados cualitativos de la materia nuevos de principio, y segundo, en que durante el desarrollo se originan siempre numerosas posibilidades y conexiones causales totalmente nuevas, no existentes antes. Además, la diversidad cualitativa de los fenómenos y la correspondiente multitud de posibilidades aumenta sin cesar a medida que se pasa a formas cada vez más complejas y progresivas.

Debido a su carácter no lineal, el desarrollo constituye un proceso que se efectúa en *múltiples planos*. El proceso del desarrollo, que empieza por un cierto nivel primario de organización estructural de la materia, distinto para las diversas condiciones, se ramifica después en numerosas direcciones, cada una de las cuales posee sus propias leyes específicas y conduce a resultados cualitativos peculiares. Por ello, no puede haber en el mundo un criterio único, adaptable por igual a todos los fenómenos. Tampoco existe una causa única de desarrollo. En cada sistema material actúan sus propias causas, con la particularidad de que su número puede ser todo lo grande que se quiera. En consonancia con ello, lo más correcto es considerar que el desarrollo se debe a *multitud de causas*.

El desarrollo de la materia no se efectúa tan sólo en el

sentido vertical de complicación de sus formas estructurales, sino también en un sentido próximo al horizontal. La materia, al pasar de los microobjetos a los cuerpos macroscópicos y, luego, a animales cada vez mejor organizados, sigue desarrollándose en cada uno de esos niveles de organización estructural. Tanto las formaciones relativamente simples como las más complejas pueden desarrollarse de un modo autónomo, de acuerdo con sus propias leyes internas. Con ese desarrollo, las formas menos complejas no se convierten en otras más complejas, originadas sobre su base, sino en otras que tienen, más o menos, el mismo orden de complejidad y perfección.

Además de las leyes específicas de desarrollo, que actúan en cada uno de los niveles de la organización estructural de la materia, existen en la naturaleza leyes dialécticas universales, igualmente aplicables a todas las formas del desarrollo.

Gracias a la acción de esas leyes, las formas del desarrollo de los diversos sistemas materiales están indisolublemente ligadas entre sí. En el mundo único existe una inagotable diversidad de fenómenos, y en esa diversidad radica, precisamente, la suprema unidad dialéctica.

Este libro, publicado por la Editorial Grijalbo, S. A., avenida Granjas, 82, México, 16, D. F., acabóse de imprimir el día 15 de diciembre de 1962 en los Talleres Gráficos de Impresiones Modernas, S. A., calle de Sevilla, 703, México, 13, D. F. En su composición se utilizaron tipos Baskerville. Se imprimieron 4.000 ejemplares en papel Lito Libros. Fecha de edición: 2 de enero de 1963.